

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Институт нефти и газа
Кафедра проектирования и эксплуатации газонефтепроводов

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

А.Н. Сокольников

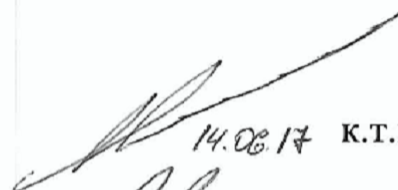
«19» июня 2017 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

23.03.03 – Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов

«Капитальный ремонт участка конденсатопровода»

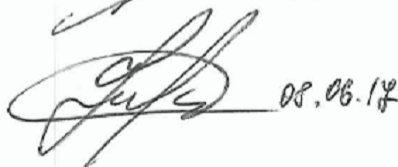
Руководитель



14.06.17 К.Т.Н., доцент

А.Н. Сокольников

Выпускник



08.06.17

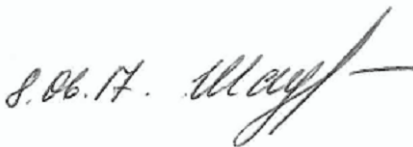
С.В. Кушнеров

Красноярск 2017

Продолжение титульного листа бакалаврской работы по теме
«Капитальный ремонт участка конденсатопровода»

Консультанты по разделам:

Экономическая часть

8.06.17. 

И.В. Шадрина

Безопасность жизнедеятельности

8.06.17 

Д.А. Едимичев

Нормоконтролер

14.06.17 

О.Н. Петров

РЕФЕРАТ

Бакалаврская работа студента С.В. Кушнерова на тему «Капитальный ремонт участка конденсатопровода» состоит из 86 листов расчетно-пояснительной записки, 25 использованных источников, 6 листов графического материала, представленные в виде плакатов

КАПИТАЛЬНЫЙ РЕМОНТ, КОНДЕНСАТОПРОВОД, ЗАМЕНА ИЗОЛЯЦИИ, ТРУБОУКЛАДЧИК, БАЛЛАСТИРОВКА.

Работа состоит в разработке технологии капитального ремонта участка конденсатопровода.

Технологическая часть бакалаврской работы содержит сведения о месте проведения работ и его климате. Описаны подготовительные, земляные, демонтажные, сварочные, изоляционные, теплоизоляционные работы, балластировка, очистка и испытание конденсатопровода.

Приведены расчеты сварочно-монтажных, изоляционных работ, рассчитаны прочностные характеристики трубопровода.

В разделе «Безопасность жизнедеятельности» описаны правила пожарной безопасности при проведении сварочно-монтажных работ. Так же произведен расчет освещенности рабочей площадки при проведении работ в ночное время

В экономической части работы рассчитаны затраты на проведение изоляционных работ при капитальном ремонте конденсатопровода.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	6
1 Характеристика существующего конденсатопровода	7
1.1 Характеристика территории проведения капитального ремонта	8
1.2 Климатическая характеристика	8
2 Технологическая часть	11
2.1 Технология капитального ремонта.....	11
2.2 Работы подготовительного периода.....	11
2.3 Методы производства основных видов работ.....	14
2.4 Земляные работы.....	14
2.5 Демонтажные работы	19
2.6 Сварочные работы.....	21
2.7 Изоляционные работы	24
2.8 Монтажные работы.....	29
2.9 Теплоизоляционные работы.....	29
2.10 Балластировка.....	30
2.11 Очистка полости и испытание конденсатопровода.....	34
3 Расчетная часть.....	38
3.1 Определение параметров и режимов ручной электродуговой сварки	38
3.2 Расчет напряженного состояния трубопровода при совмещенном способе укладки.....	43
3.3 Проверка конденсатопровода на прочность, деформацию и общую устойчивость.....	51
4 Безопасность жизнедеятельности.....	61
4.1 Анализ вредных производственных факторов.....	61
4.2 Организация работ по обеспечению пожарной безопасности.	62
4.3 Характеристика пожарной опасности технологических процессов.....	63

4.4 Сварочные работы.....	65
4.5 Расчет освещенности рабочей площадки при проведении работ в ночное время.....	69
5 Экономическая часть	71
5.1 Затраты на аренду техники	71
5.2 Затраты на вспомогательное оборудование	72
5.3 Затраты на приобретение материалов. Комбинированное полимерно- битумное покрытие на основе мастики «ТРАНСКОР-ГАЗ».....	73
5.4 Затраты на приобретение материалов. Комбинированное полимерно- битумное покрытие на основе мастики «БИТЭП-ГАЗ»	75
5.5 Заработная плата рабочих	78
Заключение	82
Список сокращений	83
Список использованных источников	84

ВВЕДЕНИЕ

Сбой работоспособности линейной части трубопроводов может происходить как следствие накопления дефектов элементами трубопровода в период эксплуатации. Дефектные участки обнаруживаются методами диагностики и устраняются обслуживающим трубопровод персоналом.

Основными видами дефектов, возникающих в процессе эксплуатации магистральных трубопроводов, являются: коррозия металла, эрозионный износ стенок, трещины в сварных швах и основном металле, нарушение защитных свойств изоляционных покрытий, изменение пространственного положения элементов трубопровода.

Для трубопроводов, эксплуатируемых в северных районах России, характерно усталостное разрушение труб, влекущее за собой необратимым изменением механических свойств и снижением способности сварных соединений и основного металла сопротивляться образованию трещин. Работоспособность оборудования и восстановление его основных характеристик достигаются путем технического обслуживания и ремонта.

Магистральный конденсатопровод предназначен для транспортировки смеси дезтанизированного конденсата с нефтью – нефтеконденсатной смеси (НГКС), поступающей с установок завода подготовки конденсата к транспорту до завода стабилизации конденсата. Повышение энергоэффективности транспорта конденсата и обеспечения надёжной эксплуатации трубопровода достигается проведением капитального ремонта магистрального конденсатопровода.

Капитальный ремонт конденсатопровода заключается в переизоляции конденсатопровода с частичной заменой трубы на участке протяженностью 18,86 км.

1 Характеристика существующего конденсатопровода

Основные параметры участка ремонтируемого конденсатопровода:

- диаметр 720 мм;
- толщина стенки 7,6 ... 9,1 мм;
- максимально разрешенное давление 5,5 МПа;
- транспортируемая среда нефтегазоконденсатная смесь;
- температура транспортируемого продукта +15 °С;
- метод прокладки подземный;
- год ввода в эксплуатацию 1995.

Общая протяжённость рассматриваемого участка составляет 18,868 км.

На рассматриваемом участке конденсатопровод пересекает следующие инженерные коммуникации:

- ВЛ 10 кВ – 4 шт.;
- электрокабель 0,4 кВ – 1 шт;
- кабель КИПиА – 7шт;
- ЛАЗ – 2 шт.;
- малые водные преграды – 2 шт.;
- грунтовый проезд – 7 шт.
- газопровод DN150 (на потребителя) – 1 шт.
- газопровод DN100 (не действующий) – 1 шт.

Общая протяжённость участков выполнения работ по капитальному ремонту на конденсатопроводе составляет 18,868 км.

1.1 Характеристика территории проведения капитального ремонта

В административном отношении участок трассы магистрального конденсатопровода , подлежащий капитальному ремонту, находится в Пуровском районе Ямало-Ненецкого автономного округа Тюменской области.

Ближайшим к рассматриваемому участку трассы конденсатопровода крупным населенным пунктом является г. Новый Уренгой, расположенный на расстоянии около 27 км на северо-запад. На расстоянии около 13 км к северу от начала рассматриваемого участка проходит железная дорога Сургут – Н. Уренгой.

Основное направление конденсатопровода на рассматриваемом участке – с Севера на Юг.

1.2 Климатическая характеристика

Климатическая характеристика территории прохождения рассматриваемого участка трассы магистрального конденсатопровода составлена на основании среднегодовыных данных наблюдений ближайшей метеостанции Уренгой, СНиП 23-01 – 99* Строительная климатология, справочника по климату СССР.

Климат района континентальный. Для района характерны суровая продолжительная зима, сравнительно короткое, прохладное лето, короткие переходные сезоны – весна и осень, поздние весенние и ранние осенние заморозки, короткий безморозный период.

Период с отрицательной температурой воздуха продолжается с октября по май. Устойчивый морозный период длится около 236 дней. Переход среднесуточной температуры воздуха к положительным значениям отмечается в третьей декаде мая. Период с положительной температурой воздуха продолжается с мая по октябрь. Продолжительность периода с температурой

воздуха выше 0 °С на рассматриваемой территории в среднем составляет 129 дней.

Характерные климатические параметры района представлены по данным ближайшей метеостанции Уренгой:

- абсолютная минимальная температура воздуха: минус 63 °С;
- абсолютная максимальная температура воздуха: плюс 34 °С;
- средняя температура самого холодного месяца года (января): минус 26,4 °С;
- средняя температура самого тёплого месяца года (июля): плюс 15,4 °С;
- наибольшая за зиму высота снежного покрова: 81 см;

Территория прохождения рассматриваемого участка трассы магистрального конденсатопровода расположена в пределах центральной части севера Западно-Сибирской плиты и приурочена к Пурской низменности – наиболее пониженной части Нижнеобской котловины.

Район представляет собой совокупность современных и верхнечетвертичных аллювиальных и озерно-аллювиальных равнинных долин. Широко распространены термокарстовые формы, приуроченные к различным отложениям и имеющие вид котловин и западин, занятых озерами и травяно-торфяными болотами глубиной 0,2 ... 2,6 м.

Абсолютные отметки земной поверхности на участке трассы конденсатопровода составляют 34 ... 55 м.

В геологическом строении территории до глубины 5 ... 10 м принимают участие четвертичные отложения, представленные озерно-аллювиальными и современными биогенными образованиями.

Отложения озерно-аллювиального комплекса представлены песками разной крупности, суглинками, супесями и глинами.

Современные болотные отложения развиты практически повсеместно, представлены торфами темно-коричневыми среднеразложившимися высокозольными. Участок конденсатопровода на протяжении 128,0 м пересекает заболоченные участки с максимальной мощностью торфа 0,3 м, на

протяжении 2848,0 м – болота I типа с мощностью торфяной залежи до 0,8 м, на протяжении 8351,0 м – болота II типа, максимальная мощность торфа на которых достигает 2,6 м.

Инженерно-геологической особенностью рассматриваемой территории является наличие многолетнемерзлых грунтов и большого количества болот. Суровые климатические условия, преобладание атмосферных осадков над испарением, слабая дренированность создают благоприятные условия для заболачивания территории, развития и сохранения вечной мерзлоты.

Глубина сезонного промерзания грунтов составляет 0,9 м для торфов, 3,61 м для песков средней крупности, 2,8 ... 3,37 м для песков мелких и пылеватых, 3,37 м для супесей, 2,77 м для суглинков.

По данным инженерных изысканий на рассматриваемом участке незначительные водные преграды (мелкие ручьи, озера) полностью промерзают.

Многолетнемерзлые грунты имеют широкое распространение и приурочены преимущественно к болотам и заболоченным участкам. Величина сезонного протаивания колеблется в пределах: 0,5 ... 0,9 м для торфа, 0,5 ... 1,7 м для суглинков, 1,0 ... 3,0 м для супесей, 1,3 ... 4,0 м для песков.

Гидрогеологические условия участка трассы характеризуются наличием подземных вод, приуроченных к озерно-аллювиальным и болотным отложениям. Питание грунтовых вод осуществляется за счёт инфильтрации атмосферных осадков, разгрузка – в естественные водотоки. Водоупором служат связные грунты и многолетнемерзлые породы. Уровень грунтовых вод вскрыт на глубине от 0,0 м до 4,7 м. Грунтовые воды – безнапорные, ультрапресные [1].

2 Технологическая часть

2.1 Технология капитального ремонта

Капитальный ремонт участка конденсатопровода предусмотрено выполнить следующий комплекс работ:

- замену существующего изоляционного покрытия конденсатопровода;
- вырезку и замену дефектных участков труб;
- сварочно-монтажные работы;
- теплоизоляцию конденсатопровода;
- укладку трубопровода на проектные отметки;
- закрепление конденсатопровода на проектных отметках балластирующими грузами;
- устройство крановых узлов;
- испытание конденсатопровода;

Работы, предусмотренные к выполнению проектом производства работ, не ведут к изменению технологической схемы конденсатопровода.

Работы по капитальному ремонту изоляционного покрытия конденсатопровода предусмотрено выполнять в существующем створе, без изменения планового положения трубы. Минимальное заглубление конденсатопровода в соответствии с п. 9.1.1 СП 36.13330.2012 составляет 1,1 м до верха балластирующих конструкций [2].

2.2 Работы подготовительного периода

До начала производства работ основного периода на объекте следует выполнить комплекс подготовительных работ, обеспечивающих своевременное ведение капитального ремонта.

Работы подготовительного периода, включают в себя:

- уточнение положения, существующего конденсатопровода с установкой

вешек и оформлением акта закрепления трассы и акта передачи участка конденсаторпровода;

- оформление акта-допуска на проведение ремонтных работ на территории действующего объекта в соответствии с СТО 27 – 2010;

- получение разрешения на производство работ в охранной зоне магистрального конденсаторпровода в соответствии с требованиями ООО «Газпром переработка»;

- оформление нарядов-допусков на производство работ повышенной опасности;

- организацию системы связи с аварийно-спасательными службами, ЛЭС, диспетчерской службой ООО «ГПП» и службой скорой медицинской помощи г. Н. Уренгой;

- уведомление землепользователей о начале и сроках проведения работ;

- доставку на объект строительной техники, оборудования и строительных материалов;

- организацию погрузо-разгрузочных работ;

- обустройство ледовых переправ;

- обустройство временных переездов;

- обустройство площадок для проведения ремонтных работ;

расчистку полосы работ от растительности.

При выполнении ремонтных работ на рассматриваемом участке от конденсаторпровода ширина полосы временного отвода составляет 23 м и зависит от расположения ремонтных площадок, временных отвалов грунта и ширины раскрытия траншеи поверху на отдельных участках.

В состав площади временного отвода входят:

- полоса ведения работ по капитальному ремонту;

- площадки для прокладки кабельных линий;

- площадки для установки оборудования при проведении испытаний конденсаторпровода;

- технологический проезд;

- площадки заправки техники, с учётом подъезда к ним;
- временные переезды.

Всего во временное пользование на период проведения работ по капитальному ремонту, предусмотрено к отводу 42,964 га.

Отвода земель в долгосрочную аренду на участке проведения ремонтных работ не требуется.

Предоставляемые во временное пользование земельные участки после окончания капитального ремонта конденсатопровода должны быть восстановлены путем выполнения рекультивации.

Необходимо провести расчистку территории существующего коридора конденсатопровода в границах полосы временного отвода от древесно-кустарниковой растительности. Общая площадь временного отвода составляет 42,964 га, из них покрыты лесом, кустарником и мелколесьем – 34,5 га территории. Расчистку мелколесья следует выполнять используя Мульчер ХТЗ-150К и бензопилы.



Рисунок 1 – Мульчер ХТЗ-150К-09-25

Разбрасывание измельчённых древесных порубочных остатков производить по площади рубки на расстоянии не менее 10,0 м от прилегающих лесных насаждений [3].

2.3 Методы производства основных видов работ

Производство работ по капитальному ремонту производится без остановки перекачки продукта. Для этого необходимо смонтировать временную байпасную линию диаметром 325 мм и толщиной стенки 7,0 мм на параллельную нитку с последующим отключением ремонтируемого участка с помощью оборудования компании Т.Д. Williamson S.A. Дальнейшие работы по капитальному ремонту выполняются на отключённом и опорожненном от продукта перекачки участке конденсатопровода.

Производство работ основного периода по капитальному ремонту выполнять в зимний период года.

2.4 Земляные работы

В комплекс земляных работ входят: снятие почвенно-растительного грунта с предварительным рыхлением, вскрытие существующего конденсатопровода и доработка траншеи до проектных отметок с рыхлением мёрзлого грунта, перемещение разработанного грунта в отвал и обратно, засыпка уложенного на проектные отметки конденсатопровода, рекультивация нарушенных земель. Производство земляных работ выполнять на захватках по 400,0 м каждая.

Снятие почвенно-растительного слоя грунта (ПРС) выполнять с предварительным рыхлением продольными ходами бульдозера на всю толщину ПРС (0,1 м) за один проход.

Предварительное рыхление ПРС осуществлять бульдозером-рыхлителем.

Рыхление должно производиться на глубину, не превышающую толщину слоя, снимаемого ПРС (0,1м).

Складирование ПРС осуществлять во временные отвалы. При выемке, перемещении и хранении не допускается смешивание ПРС с минеральным грунтом, мусором и другими веществами, ухудшающими его качество.

При вскрытии существующего конденсатопровода и разработке траншеи до проектных отметок параметры траншеи назначены в соответствии с требованиями СНиП 3.02.01 – 87, СНиП III-42 – 80* и СП 104-34 – 96. На участках прохождения конденсатопровода в многолетнемерзлых грунтах ширина траншеи по дну с учетом баллаستировки и теплоизоляции принята 3,0 м. Крутизна откосов траншеи принята в зависимости от глубины траншеи, состояния и вида грунта [4].

Вскрытие существующего конденсатопровода и доработку траншеи до проектных отметок осуществлять по единой технологической схеме:

- предварительное рыхление мёрзлого грунта бульдозером-рыхлителем и вручную;
- разработка траншеи экскаватором во временный отвал.

Предварительное рыхление бульдозером-рыхлителем выполнять слоем до 0,5 м. Зона рыхления на месте должна быть обозначена вешками высотой 1,0 м с шагом 3,0 м. Рыхление грунта на расстоянии 2,0 м от оси конденсатопровода и пересекаемых коммуникаций производить вручную без применения ударных механизмов.

Разработку предварительно разрыхлённого мёрзлого грунта производить с одной стороны от оси конденсатопровода одноковшовым экскаватором обратная лопата во временный отвал.

Доработку грунта до проектной отметки производят вручную.

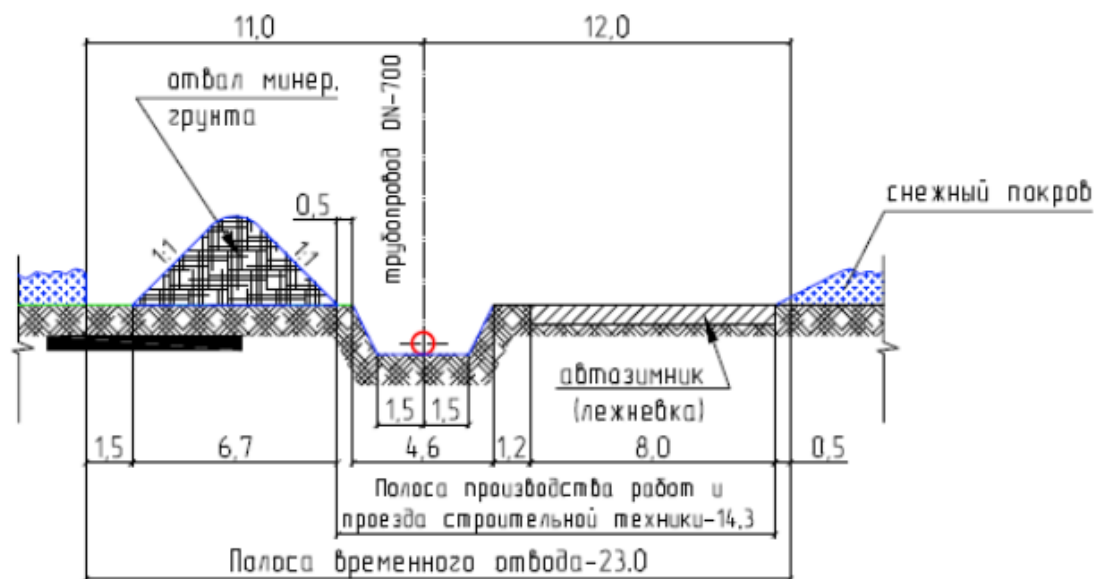


Рисунок 2 – Схема полосы временного отвода земель, монтаж трубопровода

Обратную засыпку траншеи следует выполнять грунтом обратной засыпки после укладки магистрального конденсатопровода и контроля проектных отметок в два этапа:

- присыпать конденсатопровод предварительно разрыхлённым мягким грунтом слоем 0,2 м над верхней образующей трубы с помощью экскаватора с подбивкой пазух вручную;
- засыпать траншею бульдозером до проектных отметок.

Для предохранения изоляции конденсатопровода от механических повреждений при выполнении обратной засыпки, находящийся в отвале мёрзлый грунт, необходимо разрыхлить. Для этого использовать экскаватор с механизмом разрыхления грунта. Разрыхлённым грунтом выполнить присыпку конденсатопровода с помощью экскаватора с подбивкой пазух вручную. Далее экскаватор с механизмом уплотнения грунта выполняет обвалование грунта с последующим уплотнением [5].

До укладки конденсатопровода на проектные отметки на участках, сложенных мерзлыми грунтами следует выполнить отсыпку дна траншеи мягким минеральным грунтом слоем не менее 0,1 м и уплотнить с помощью

виброплиты ТСС ВП50-4Р.



Рисунок 3 – Виброплита ТСС ВП50-4Р

В случае, если рыхление находящегося в отвале мёрзлого грунта с помощью бульдозера будет недостаточным для устройства постели под трубопровод и присыпки над верхней образующей трубы (недостаточное размельчение, содержание мёрзлых комьев размером более 50,0 мм в поперечнике) следует выполнить просеивание грунта с помощью просеивающей ковшовой дробилки ALLUSMH 4-17, которая является навесным оборудованием на экскаватор [6].



Рисунок 4 – Ковшовая дробилка ALLUSMH

Во избежание заноса траншеи снегом и смерзания отвала грунта при работе в зимних условиях темп разработки и обратной засыпки траншеи должен соответствовать темпу изоляционно-укладочных работ. Технологический разрыв между землеройной и изоляционно-укладочной колоннами должен быть не более двухсуточной производительности землеройной колонны.

Работы по капитальному ремонту магистрального конденсатопровода производятся в зимний период года. В случае наступления оттепелей и выхода в траншею грунтовых или талых вод при необходимости следует применять открытый водоотлив путём обустройства ложной траншеи для сбора воды в подготовленный приямок и откачки её на открытый рельеф с помощью погружного центробежного насоса НЦПГ-180.

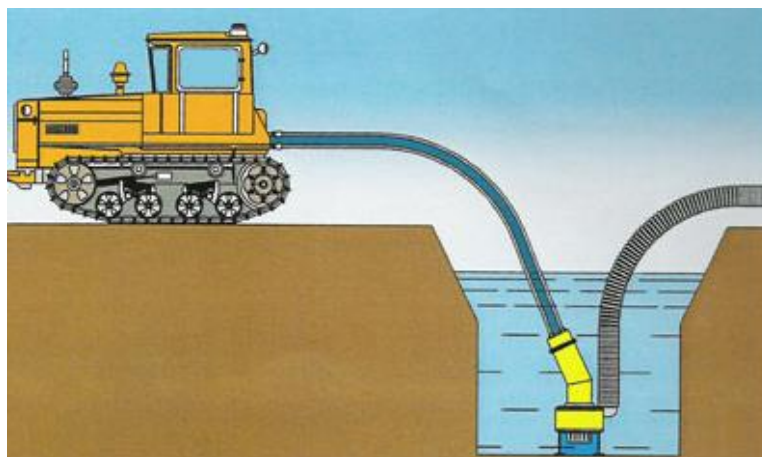


Рисунок 5 – Схема погружения насоса НЦПГ-180 в траншею

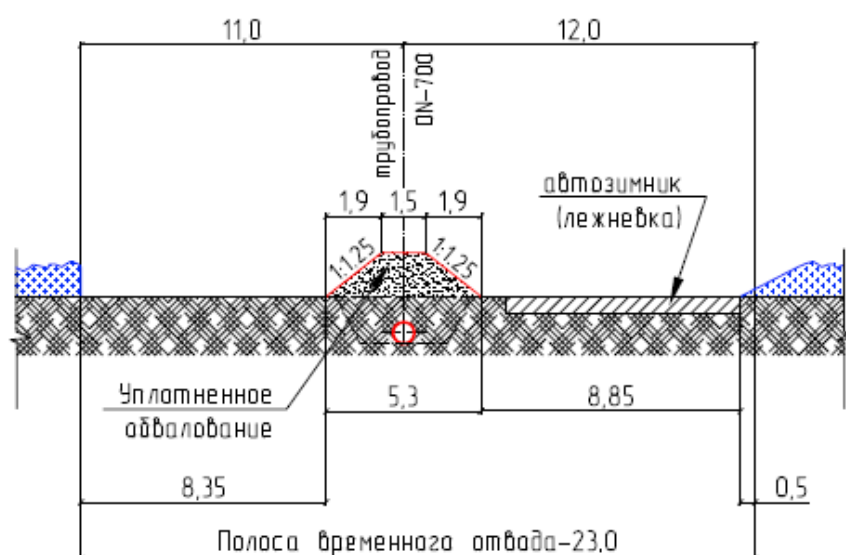


Рисунок 6 – Схема полосы временного отвода земель после рекультивации

2.5 Демонтажные работы

Вскрытый конденсатопровод отрезать от магистрали машиной безогневой резки в траншее. После отсечения участка конденсатопровода, от магистрали на 0 км и 18,68 км и вскрытия существующего конденсатопровода следует выполнить подъем трубопровода на бровку

траншеи, выполнив 9 технологических разрывов:

Перед подъёмом конденсатопровода на бровку траншеи следует выполнить демонтаж существующих балластирующих грузов (при наличии). Демонтаж производить трубоукладчиками. Демонтированные балластирующие грузы переместить на площадки складирования с последующим вывозом на полигон ТБО г. Н. Уренгой.

Подъем плетей отсечённого от магистрали и вскрытого участка конденсатопровода на монтажную площадку выполнять трубоукладчиками. Трубопровод на монтажной площадке выложить на монтажные лёжки, установленные на расстоянии 60,0 м друг от друга и очистить от существующей изоляции. Изоляционное покрытие вывезти автотранспортом на свалку в г. Н. Уренгой. Дальность возки 64,0 км.

Отбракованные участки труб конденсатопровода, по результатам отбраковки, общей протяжённостью 3768,0 м (что составляет 20 % от протяжённости рассматриваемого участка) разрезать и вывезти автотранспортом для сдачи. Отбраковку демонтированных труб производить на бровке траншеи в соответствии с действующими нормативными документами ОАО «Газпром», по оценке дефектов труб.

В соответствии с «Порядком технической инвентаризации, учета и использования труб, демонтированных при капитальном ремонте и реконструкции магистральных газопроводов ОАО «Газпром», утвержденным ОАО «Газпром» 07.03.2007г, в ходе выполнения работ по демонтажу дефектных участков конденсатопровода выполнить резку труб по монтажному кольцевому стыку, длина труб должна составлять не менее 8,0 м.

Резку труб выполнять на берме машиной МРТ 219-820 «Волжанка 1».



Рисунок 7 – Машина безогневой резки МРТ 219-820 «Волжанка 1»

2.6 Сварочные работы

Сварочные работы выполнять в соответствии с требованиями СНиП III-42 – 80*, СТО Газпром 2-2.2-136 – 2007, СТО Газпром 14 – 2005, Временные требования к организации сварочно-монтажных работ, применяемым технологиям сварки, неразрушающему контролю качества сварных соединений и оснащенности подрядных организаций при строительстве, реконструкции и капитальном ремонте магистральных газопроводов ОАО «Газпром» под руководством аттестованных специалистов по технологии сварки и аттестованными сварщиками.

Сборку вновь монтируемых труб в плети и сварку труб повторного применения выполнять на бровке траншеи. Сварка стыков плетей должна выполняться ручной электродуговой сваркой по разработанной технологической карте.

Проведение сварочных работ включает в себя следующий перечень обязательных мероприятий:

- назначение лиц, ответственных за подготовку и проведение сварочных работ;
- оформление наряда-допуска на ведение огневых работ;
- подготовку сварочных материалов, оборудования, инструментов;
- проверку состояния воздушной среды на месте проведения сварочных работ;
- подготовку поверхности свариваемых деталей;
- непосредственно сварочные работы;
- контроль качества сварки.

Внутренняя полость труб перед сборкой должна быть очищена от попавшего грунта и других загрязнений. Свариваемые кромки и прилегающие к ним внутренние и наружные поверхности свариваемых элементов должны быть зачищены механическим способом шлиф машинкой на ширину не менее 15 мм.

Сборку труб производить с применением внутренних и наружных центраторов. При сборке труб с одинаковой толщиной стенки смещение кромок допускается на величину до 20 % толщины стенки трубы, но не более 3 мм. Смещение кромок для разностенных труб, измеряемое по наружной поверхности, не должно превышать 3 мм.

При сборке заводские швы свариваемых труб, располагать в верхней половине периметра, при этом их следует смещать друг относительно друга на расстояние не менее 100 мм.

Наружные центраторы не должны оставлять недопустимых дефектов (рисок, царапин и др.), загрязнений (масляных пятен и др.) на наружной поверхности свариваемых элементов [7].

До начала сварки должен производиться предварительный подогрев свариваемых кромок и прилегающих к ним участков труб по толщине стенки и периметру трубы в зоне шириной не менее 150 мм (т.е. не менее 75 мм в каждую сторону от свариваемых кромок).

Подогрев не должен нарушать целостность изоляции. При применении газопламенных нагревательных устройств (горелок) следует применять термоизоляционные материалы (термоизолирующие пояса) или боковые ограничители пламени. Максимальная температура нагрева трубы, в месте начала заводского изоляционного покрытия, не должна превышать плюс 100 °С.

Сварку разнотолщинных труб выполнять при специальной разделке кромок более толстой стенки трубы. При сварке разностенных труб подварка изнутри корня шва обязательна, при этом подварочный слой должен быть очищен от шлака, из трубы должны быть собраны и удалены огарки электродов и шлак.

В процессе сварки каждый слой шва и свариваемые кромки, а также после завершения сварки облицовочный слой и прилегающие к нему поверхности труб на расстоянии не менее 10 мм должны быть зачищены от шлака и брызг наплавленного металла механическим способом шлифмашинками.

По окончании сварки при температуре воздуха ниже плюс 5°С или при наличии осадков сварные соединения должны быть накрыты влагонепроницаемым теплоизолирующим поясом до полного остывания. В непосредственной близости от выполненного сварного шва несмываемой краской должны быть нанесены клейма сварщиков [8].

По окончании сварочных работ сварные соединения труб следует подвергнуть визуальному и измерительному контролю в объеме 100 %, радиографическому контролю в объеме 100%, ультразвуковому контролю в объеме 100% в соответствии с СТО Газпром 2-2.4-083-2006 [9].

2.7 Изоляционные работы

Капитальный ремонт изоляционного покрытия участка конденсатопровода протяженностью 18868,1м предусмотрено выполнить в трассовых условиях:

- комбинированным защитным покрытием на основе битумно-полимерной мастики «Транскор-Газ» L = 15102 м;
- трубами в заводской изоляции L = 3768,0 м;
- манжетами термоусаживающимися «Терма-СТМП» 328 шт.

Изоляционные работы следует производить с учётом требований СНиП III-42 – 80*, ВСН 008 – 88, ГОСТ Р 51164 – 98, СТО Газпром 2-2.3-231 – 2008. «Временных технических требований к наружным битумно-полимерным антикоррозионным материалам, покрытиям и их нанесению при ремонте магистральных конденсатопроводов диаметром до 1420 мм», ТИ-5775-006-32989231 – 2005, И 5774-007-32989231 – 2005, ТУ 2245-011-44271562 – 2004.

Нанесение наружного комбинированного битумно-полимерного антикоррозионного покрытия должно осуществляться механизированным способом на бровке траншеи с применением комплекса машин и оборудования выпускаемого в г. Нижний Новгород производственно-конструкторской фирмой «Промтех-НН». Все машины комплекса и оборудование «Промтех-НН» сертифицированы Нижегородским центром стандартизации, метрологии и сертификации и разрешены к применению Ростехнадзором на предприятиях ОАО «Газпром» [10].

Изоляция термоусаживающимися манжетами предусмотрена для сварных стыков труб в заводской изоляции. Проектной документацией предусмотрено выполнить замену участков трубопровода на трубы в заводской изоляции общей протяжённостью 3768,0 м. Границы заменяемых дефектных участков следует определить по месту при вскрытии существующего конденсатопровода [11].

Общий объем изоляционных работ при проведении капитального ремонта

представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Общий объем изоляционных работ.

№ п/п	Технология производства изоляционных работ	Длина участка, м	Кол-во стыков, шт.
1	Изоляция на бровке траншеи механизированным способом, покрытием на основе битумно-полимерной мастики «Транскор-Газ»	15102,0	–
2	Изоляция сварных стыков, манжетами термоусаживающимися «Терма-СТМП»	3768,0	328
	Всего	18870,0	328

Изоляция комбинированным защитным покрытием на основе битумно-полимерной мастики «Транскор-Газ» [12].

При выполнении изоляционных работ механизированным способом очистку, изоляцию и укладку трубопровода производить в едином технологическом потоке.

Технологическая последовательность изоляционных работ включает в себя:

- приём и входной контроль качества поставляемых изоляционных материалов;
- подготовку изоляционных материалов;
- снятие с трубопровода существующей изоляции в трассовых условиях;
- очистку поверхности трубопровода от продуктов коррозии и загрязнений до степени не ниже 3 по ГОСТ 9.402 – 2004;
- выполнение визуального, при необходимости, инструментального контроля поверхности труб и вскрытых сварных стыков;
- подогрев поверхности трубопровода до температуры не ниже плюс 15 °С, но не выше плюс 30 °С, если температура трубы ниже плюс 5°С;
- нанесение грунтовки «Транскор-Газ» ровным сплошным слоем

толщиной не менее 0,1 мм;

- нанесение битумно-полимерной мастики «Транскор-Газ» ровным сплошным слоем толщиной не менее 3 мм;

- нанесение одного слоя армирующей стеклосетки «ССТ-Б» с нахлёстом не менее 30 мм;

- нанесение одного слоя ленты термоусаживающейся «ДРЛ-Л» толщиной 0,7 мм;

- проверку качества нанесения защитного покрытия в каждую смену [13].

Снятие существующего дефектного изоляционного покрытия и подготовку поверхности трубы к нанесению нового изоляционного покрытия производить машинами предварительной и финишной очистки. На машинах используется механический принцип очистки: подпружиненные резцы и активно приводные щётки, что позволяет произвести очистку конденсатопровода до степени 3 в соответствии с требованием ГОСТ 9.402 – 2004 и соответствует условиям нанесения изоляционного покрытия на основе битумно-полимерной мастики «Транскор-Газ». Характеристику очищенной поверхности определить визуальным методом с помощью перемещения по поверхности пластины из прозрачного материала размером 25×25 мм. На любом из проверяемых участков ржавчиной и окалиной может быть занято не более 10 % площади пластины. Работы по снятию изоляции и подготовке поверхности выполнять машиной для предварительной очистки трубопроводов ПТ-НН 820ПО и машиной для финишной очистки трубопроводов ПТ-НН 820ФО.

До нанесения изоляционного покрытия следует выполнить визуальный, при необходимости, инструментальный контроль поверхности труб и вскрытых сварных стыков. По вскрытым дефектам, по месту, принять решение о ремонте или замене дефектных труб.

Грунтовку наносить на сухую, очищенную поверхность трубы ровным сплошным слоем без подтёков, сгустков и пузырей. Температура трубы перед нанесением грунтовки должна быть не ниже 10 °С. При наличии на

поверхности трубы влаги в виде плёнки, капель, наледи или изморози сушку и подогрев поверхности трубопровода произвести нагревательным агрегатом ПТ-НН 720АН. Для равномерного нанесения грунтовки по всему периметру трубы машина принудительно наносит на трубу праймер с последующей его растиркой полотенцем. Нанесение грунтовки осуществлять грунтовочной машиной ПТ-НН 820Г.

На загрунтованную поверхность конденсатопровода следует нанести битумно-полимерную мастику. Мастика наносится изоляционной машиной за один проход ровным сплошным слоем, без пузырей, пропусков, борозд или посторонних включений. Приготовление мастики и её подачу в изоляционную машину осуществляет автоматизированный электрический плавильный котёл ПТ-НН 300К, который следует располагать на бровке траншеи в составе колонны трубоукладчиков.

Стеклосетку и обёртку наносить на мастику, стеклосетка должна полностью погружаться в мастичный слой. Нанесение стеклосетки следует производить спирально без гофр, морщин и складок с нахлестом края последующего витка на предыдущий не менее 30 мм. Защитная обёртка должна ложиться на трубу по слою битумно-полимерной мастики без перекосов, морщин, обвисаний и воздушных пузырей. Работы по нанесению мастики, стеклосетки и защитной обёртки производить изоляционной машиной ПТ-НН 720И.

Комплекс машин, предназначенный для капитального ремонта изоляционного покрытия, включает в себя:

- машина для предварительной очистки трубопроводов ПТ-НН 820ПО;
- машина для финишной очистки трубопроводов ПТ-НН 820ФО;
- машина грунтовочная (грунтовочно-изоляционная) ПТ-НН 820Г;
- машина изоляционная для нанесения битумно-мастичной изоляции ПТ-НН 720И;
- котел автоматизированный плавильный электрический ПТ-НН 300К;
- агрегат нагревательный ПТ-НН 720АН;

- термоконтейнер ПТ-НН ТК.

Изоляцию сварных стыков труб в заводской изоляции выполнять манжетами термоусаживающимися «Терма-СТМП» ТУ 2245-011-44271562 – 2004.

Технология изоляции сварных стыков термоусаживающимися манжетами включает в себя следующие операции:

- механическая очистка изолируемой поверхности после сварки и контроля стыка;
- подогрев изолируемой поверхности;
- установка на сварной стык манжеты;
- центровка и термоусадка манжеты с прикаткой её к изолируемой поверхности.

Правильная усадка манжеты должна обеспечивать равномерное и плотное обжатие сварного стыка. Манжету считать правильно установленной когда:

- она целиком соприкасается с поверхностью трубы и имеет гладкую поверхность;
- обеспечен нахлест на заводское покрытие не менее 10,0 см;
- из-под нахлеста манжеты на заводском покрытии виден эпоксидный праймер.

При выполнении изоляционных работ следует выполнять контроль качества применяемых материалов, операционный контроль качества изоляционных работ и контроль качества готового покрытия.

Методы контроля, технические требования к покрытию и параметры контроля покрытия должны соответствовать ГОСТ Р 51164 – 98, «Временным техническим требованиям к наружным битумно-полимерным антикоррозионным материалам, покрытиям и их нанесению при ремонте магистральных газопроводов диаметром до 1420 мм».

Результаты проверки качества изоляционного покрытия следует оформить актом.

Для изоляции надземной части крановых узлов, соединительных деталей, отводов холодного гнущего (при необходимости), применить антикоррозионное покрытие конструкции:

- эпоксидное покрытие Инерта Мاستик Миокс – 1 слой;
- полиуретановое покрытие Текнодур 0050 – 2 слоя.

Для изоляции подземной части крановых узлов, соединительных деталей, отводов холодного гнущего (при необходимости), применить антикоррозионное покрытие «Scotchkote 352».

2.8 Монтажные работы

На рассматриваемом участке конденсатопровода предусмотрено выполнить замену участков трубопровода общей протяжённостью 3768,0 м.

Укладку сваренного в плети конденсатопровода на проектные отметки выполнять трубоукладчиками.

По окончании ремонтно-изоляционных работ, в местах пересечения ремонтируемого участка конденсатопровода с существующими технологическими проездами, следует выполнить обустройство переездов из железобетонных плит. В качестве основания под покрытие из железобетонных плит, проектной документацией предусмотрена отсыпка песка с последующей подбивкой и уплотнением. Необходимый для отсыпки песок доставлять из г. Н. Уренгой автотранспортом. Разравнивание отсыпанного основания из песка выполнять бульдозером. Укладку железобетонных плит на подготовленное основание выполнить автокраном.

2.9 Теплоизоляционные работы

Теплоизоляционные работы следует производить с учётом требований ВСН 008 – 88 и ТУ 5767-001-01297858 – 02.

Тепловую изоляцию конденсатопровода необходимо выполнить на участках залегания многолетнемерзлых грунтов. Общая протяжённость участков с теплоизоляцией составляет 2675,0 м. В качестве теплоизолирующего материала предусмотрен экструзионный пенополистирол «Экстрол».

Производство теплоизоляционных работ осуществлять вручную после нанесения изоляционного покрытия и укладки конденсатопровода в траншею. При производстве теплоизоляционных работ трубопровод должен быть приподнят над траншеей с помощью трубоукладчиков, оснащённых мягкими полотенцами на высоту, достаточную для осуществления монтажа теплоизоляции на нижнюю образующую конденсатопровода – 0,7 м.

Последовательность операций при организации теплоизоляционных работ включает в себя:

- установку сегментов «Экстрол»;
- крепление сегментов «Экстрол» на трубопроводе;
- контроль качества теплоизоляционных работ.

Сборная конструкция теплоизоляции «Экстрол» состоит из набора пенополистирольных сегментов с гранями в четверть. Монтаж сегментов теплоизоляции выполнить путём последовательной укладки сегментов в один слой на поверхность трубопровода. При сборке сегментов необходимо обеспечить плотное соединение боковых продольных граней сегментов, имеющих специальный профиль.

Для крепления сегментов применять бандаж из полипропиленовой ленты с пряжками. Шаг установки бандажей 0,5 м.

При выполнении теплоизоляционных работ следует производить контроль качества применяемых материалов, операционный контроль качества работ по нанесению теплоизоляции и контроль качества готового покрытия.

2.10 Балластировка

Для обеспечения устойчивого положения конденсатопровода на

проектных отметках, при его последующей эксплуатации предусмотрен комбинированный способ балластировки трубопровода применением полимерконтейнеров текстильных бескаркасного типа ПТБК 700, ПТБК 800 и минерального грунта. Общее количество балластирующих грузов составляет 4677 комплектов.

Балластирующие грузы устанавливать на конденсатопровод только после контрольных промеров, подтверждающих его укладку на проектные отметки. Минимальное заглубление конденсатопровода в соответствии с п. 9.1.1 СП 36.13330.2012 составляет 1,1 м до верха балластирующих конструкций [17].

До начала производства работ пригрузы доставляются на монтажную площадку к месту производства работ, подготавливаются необходимые машины и механизмы.

Для заполнения контейнеров должен использоваться только минеральный грунт без примесей торфа и снега с плотностью не менее, чем $1,4 \text{ т/м}^3$.

Полимерконтейнеры текстильные бескаркасного типа ПТБК заполняются при помощи передвижного бункерного устройства.

Утяжелители ПТБК заполняются в следующем порядке:

- рукава емкостей одевают на насадки бункера и закрепляют бандажными элементами;
- грузовые элементы контейнера привязывают к металлоконструкциям бункера обрезками упаковочного шнура (тесьмы) с возможностью развязывания узлов под нагрузкой (на бантик).

Перед загрузкой грунтом дно емкостей ПТБК должно быть выше земли на 30 ... 50 см во избежание образования складок и неравномерной загрузки емкостей. Грунт заполняют экскаватором с промежуточным уплотнением ручными трамбовками. Загрузку производят в две стадии:

- вначале заполняют две емкости грунтом, при этом емкость бункерного устройства на одну треть также должна быть заполнена грунтом;

- отсоединяют грузовые элементы (развязывают «бантик»), в результате емкости ПТБК висят на рукавах и оставшийся в емкости бункера грунт сыпается в емкости ПТБК;

- заполнение грунтом продолжают, сопровождая процесс трамбованием грунта, и заканчивают после заполнения рукавов;

- размыкают бандажные элементы, снимают рукава емкостей с насадок емкости бункера;

- бункер переставляют на свободное место, освобождая утяжелитель;

- грунт в емкостях распределяют вручную равномерно по площади сечения, рукава емкостей заправляют каждый внутрь между одной из стенок емкости и грунтом. Горловины рукавов перевязывают, связывая между собой пришитые к их основанию два отрезка тесьмы, смежные грузовые элементы емкостей связывают между собой отрезками упаковочного шнура, стягивая этим торцы емкостей.

Эту операцию производят при поднятом на 0,5 м от земли утяжелителе, при этом используют два мягких стропа, пропущенных через смежные грузовые элементы и закрепленных на крюке крана. Прочность перевязки из шнура за счет его многократного пропуска через грузовые элементы не должна быть ниже прочности последних (уточняется в инструкции по применению ПТБК, сопровождающей партию изделий);

- загруженные полимерконтейнеры складывают на ровной площадке на поддоне или настиле. С целью предохранения в зимнее время от смерзания грунта в емкостях и (или) их примерзания к земле заполнение ПТБК грунтом должно производиться непосредственно перед монтажом их на трубопровод.

ПТБК устанавливается с помощью крюка крана на трубопроводы диаметром от 219 мм до 1420 мм, включительно, в траншеи с профилем, разработанным в соответствии со СНиП III-42 – 80 п.3.2, шириной по дну не менее 2,2 диаметров укладываемого трубопровода и глубиной, превышающей диаметр балластируемого трубопровода на один метр и более.

Контролируется качество монтажа пригрузов с учетом:

- наличия сертификатов на материалы;
- проверки веса грузов (взвешивание 5 % грузов, но не менее 3 шт.);
- контрольных измерений интервалов между грузами (д.б. в соответствии с проектными);
- правильности установки пригрузов (недопущение перекосов);
- проверки плотности прилегания внутренней поверхности грузов к трубопроводу.

Общее количество балластирующих грузов составляет ПБТК700 – 3884 шт, ПБТК800 – 793 шт.

Балластирующие грузы устанавливать на конденсатопровод только после контрольных промеров, подтверждающих его укладку на проектные отметки.

До начала работ по балластировке нужно выполнить:

- назначить лиц ответственных за качественное и безопасное производство работ;
- проинструктировать рабочих по охране труда;
- обеспечить рабочих необходимым оборудованием, инструментом, инвентарем, приспособлениями, средствами первой медицинской помощи а также спецодеждой;
- подготовить площадки для складирования ПБТК;
- проверить качество изоляционно-укладочных работ;
- места установки отметить на продуктопроводе марками или краской яркого цвета;
- проверить грузозахватные приспособления;
- подготовить к работе машины и механизмы.

На участках балластировки конденсатопровода заполнение контейнеров следует проводить минеральным грунтом. Общий объем привозного песка для заполнения 4677-ти балластирующих грузов составляет 11849 т/м³. Доставку минерального грунта на объект осуществлять автотранспортом из г. Н. Уренгой, дальность возки в среднем составляет 54,0 км.

2.11 Очистка полости и испытание конденсатопровода

В связи с проведением испытаний в зимний период предусмотрено:

- проведение предварительных испытаний крановых узлов и временной байпасной линии – пневматическим способом (см табл. 2).

- проведение предварительных испытаний участков пересечений с подземными коммуникациями (кабель 0,4 кВ, подземные трубопровода Ду 150 и Ду 100) – гидравлическим способом незамерзающей жидкостью. (см табл. 2).
Транспортировка, подача и вывод незамерзающей жидкости осуществляется автотранспортом.

- проведение основного участка испытаний пневматическим способом. (См табл. 3).

Таблица 2 – Проведение предварительных испытаний крановых узлов и временной байпасной линии

Параметры испытаний				
№	Участок	Тип испытания	Давление испытания в верхней точке, МПа.	Продолжительность, час.
	Предварительные гидравлические испытания (1этап: промывка, заполнение водой, гидроиспытание, удаление воды) 1. Пересечение с кабелем 0,4кВ. 2. Пересечение с 2-мя газопроводами Ду150 и	Гидравлический: прочность	$1,25 \cdot P_{\text{раб}} = 1,25 \times 5,5 = 6,875$	12
		Гидравлический: герметичность	$P_{\text{раб}} = 5,5$	12

	Ду 100			
	Предварительные пневматические испытания	Пневматический: прочность	$P_{\text{исп}} = 3,0$	2
		Пневматический: герметичность	$P_{\text{исп}} = 2,0$	в течении времени, необходимого для осмотра кранового узла.

Окончание таблицы 2

Параметры испытаний				
№	Участок	Тип испытания	Давление испытания в верхней точке, МПа.	Продолжительность, час.
	Предварительные пневматические испытания	Пневматический: прочность		$P_{\text{исп}} = 6,875$
		Пневматический: герметичность		$P_{\text{исп}} = P_{\text{раб}} = 5,5$

Таблица 3 – Проведение основного участка испытаний пневматическим способом.

Параметры испытаний				
№	Участок	Тип испытания	Давление испытания в верхней точке, МПа.	Продолжи- тельность, час.
	Заключительный этап пневматических испытаний.	Пневматический: прочность	$P_{\text{исп}} = 1,1 \cdot P_{\text{раб}} = 1,1 \cdot 5,5 = 6,05$	12
		Пневматический: герметичность	$P_{\text{раб}} = 5,5$	12

Проведение предварительных испытаний, очистку полости конденсатопровода, испытание на прочность и проверку на герметичность следует осуществлять по специальной инструкции, отражающей местные условия работ.

Очистку внутренней полости конденсатопровода производить до начала испытаний продувкой с пропуском очистных или разделительных поршней.

Продувка участка трубопровода выполнить сжатым воздухом, подаваемым высокопроизводительными компрессорными установками.

Продувка считается законченной, если очистной или разделительный поршень вышел из трубопровода неразрушенным.

Испытания конденсатопровода выполнять пневматическим способом – воздухом. Подъем давления в конденсатопроводе следует производить не более 0,3 МПа в час. При достижении давления 2 МПа (20 кгс/см²) произвести осмотр конденсатопровода. На время осмотра подъем давления должен быть прекращен. Дальнейший подъем давления до испытательного следует производить без остановок. Осмотр трассы при увеличении давления от 0,3 Р_{исп} до Р_{исп} и в течении времени испытания на прочность запрещается. После окончания испытания на прочность и снижения давления до Р_{раб} следует выполнить осмотр трассы для проверки на герметичность.

В процессе пневматического испытания на прочность участок конденсатопровода, величина испытательного давления составляет $P_{исп} = 1,1 \cdot P_{раб} = 1,1 \cdot 5,5 \text{ МПа} = 6,05 \text{ МПа}$ (60,5 кгс/см²), продолжительность испытания – 12 часов.

Для проверки герметичности следует снизить давление в полости конденсатопровода до расчетного рабочего давления $P_{раб} = 5,5 \text{ МПа}$ (55,0 кгс/см²), продолжительность проверки не менее 12 часов.

Трубопровод считается выдержавшим испытание на прочность и проверку на герметичность, если за время испытания конденсатопровода снижение давления за 12 часов не превышает 1 %.

Осушка внутренней полости конденсатопровода. Осушка выполняется продувкой воздухом с пропуском не менее четырех очистных поршней. Технология ведения работ по осушке внутренней полости конденсатопровода аналогична очистке внутренней полости.

Для полного удаления влаги из конденсатопровода его необходимо осушить, доведя температуру точки росы воздуха (ТТР), выходящего из участка конденсатопровода, до значений не выше ТТР воздуха равной минус 20 °С. До начала работ по осушке и после каждого пропуска поршня, с помощью гигрометра, проверенного и аттестованного для применения на территории РФ, произвести измерение ТТР воздуха на открытом конце участка конденсатопровода.

Измерение производить на выходе из участка конденсатопровода, внутри трубы не менее чем в 1,0 м от ее обреза. При достижении значений ТТР выходящего воздуха не выше минус 20 °С (при атмосферном давлении) в течении 4 ... 6 часов с периодичностью замера не менее 1 раз в час, и при условии, что разница ТТР выходящего воздуха не превышает ТТР воздуха, подаваемого от установки осушки более чем на 10 °С, этап удаления влаги считается законченным.

По завершению комплекса работ по испытаниям конденсатопровода, участок следует присоединить к основной магистрали по границам ведения работ [14].

3 Расчетная часть

3.1 Определение параметров и режимов ручной электродуговой сварки

Исходные данные для определения параметров и режимов ручной электродуговой сварки.

Для выполнения сварки корневого шва примем электроды типа Э50А марок LB-52U, ОК 53.70 диаметром 2,0 ... 3,25 миллиметра и для заполняющих слоев примем электроды типа Э60 марки ОК53.70 диаметром 3,0 ... 4,0 миллиметра.

Эквивалент углерода металла $[C]_э$ низкоуглеродистых низколегированных сталей, независимо от состояния их поставки – горячекатаные, нормализованные и термически упрочненные – определяется по формуле:

$$C_э = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + \sum(V + Nb + Ti)}{5} + \frac{Cu + Ni}{15} + 15B \leq 0,46 \%, \quad (1)$$

где C, Mn, Cr, Mo, V, Ti, Ni, Cu, B – содержание, % от массы, в составе металла трубной стали соответственно углерода, марганца, хрома, молибдена, ванадия, ниобия, титана, меди, никеля, бора.

$$C_э = 0,095 + \frac{1,25}{6} + \frac{0,07}{5} = 0,31 \leq 0,46 \% .$$

Температура подогрева составит 50 °С.

Общая площадь заполнения разделки будет равна:

$$A_{\text{н}}^{\text{общ}} = b \cdot S + (S - 1,8)^2 \cdot \text{tg} 30^\circ + \frac{2}{3} \cdot q \cdot (2 \cdot (S - 1,8) \cdot \text{tg} 30^\circ + b + 7) , \quad (2)$$

где S – толщина стенки, мм;

b – величина зазора, $b=2$ мм;

q – высота облицовочного слоя, $q = 2$ мм.

$$A_{\text{н}}^{\text{общ}} = 2 \cdot 9 + (9 - 1,8)^2 \cdot \text{tg} 30^\circ + \frac{2}{3} \cdot 2 \cdot (2 \cdot (9 - 1,8) \cdot \text{tg} 30^\circ + 2 + 7) = 150,768 \text{ мм}^2.$$

Площадь первого корневого слоя:

$$A_{\text{н}}^{\text{к}} = 7 \cdot d_{\text{эл.к}} , \quad (3)$$

где $d_{\text{эл.к}}$ – диаметр электрода корневого шва.

$$A_{\text{н}}^{\text{к}} = 7 \cdot 3,625 = 25,375 \text{ мм}^2.$$

Площадь заполняющих слоев:

$$A_{\text{н}}^{\text{зап}} = 10 \cdot d_{\text{эл.зап}} , \quad (4)$$

где $d_{\text{эл.зап}}$ – диаметр электрода заполняющих слоев.

$$A_{\text{н}}^{\text{зап}} = 10 \cdot 3,5 = 35 \text{ мм}^2.$$

Общее количество слоев:

$$n = \frac{A_{\text{н}}^{\text{общ}} - A_{\text{н}}^{\text{к}}}{A_{\text{н}}^{\text{зап}}}, \quad (5)$$

$$n = \frac{150,768 - 25,375}{35} = 3,59 \approx 4.$$

Определим силу сварочного тока (А):

$$I_{\text{св.к}} = k \cdot d_{\text{эл.к}}^{1,5}, \quad (6)$$

$$I_{\text{св.зап}} = k \cdot d_{\text{эл.к}}, \quad (7)$$

где k – коэффициент, зависящий от диаметра стержня электрода;
 $d_{\text{эл}}$ – диаметр электродного стержня, мм.

$$I_{\text{св.к}} = 37,5 \cdot 3,625^{1,5} = 258,82 \text{ A},$$

$$I_{\text{св.зап}} = 37,5 \cdot 3,5 = 131,25 \text{ A}.$$

Определим напряжение дуги:

$$U_{\text{д.к}} = 20 + \frac{0,05}{d_{\text{эл.к}}^{0,5}} \cdot I_{\text{св.к}} + 1, \quad (8)$$

$$U_{\text{д.зап}} = 20 + \frac{0,05}{d_{\text{эл.зап}}^{0,5}} \cdot I_{\text{св.зап}} + 1, \quad (9)$$

$$U_{\text{д.к}} = 20 + \frac{0,05}{3,625^{0,5}} \cdot 258,82 + 1 = 27,7 \text{ В},$$

$$U_{\text{д.зап}} = 20 + \frac{0,05}{3,5^{0,5}} \cdot 131,25 + 1 = 24,5 \text{ В.}$$

Скорость сварки (м/ч):

$$V_{\text{св.к}} = \frac{\alpha_{\text{н}} \cdot I_{\text{св.к}}}{A_{\text{н}}^{\text{к}} \cdot \gamma}, \quad (10)$$

$$V_{\text{св.к}} = \frac{\alpha_{\text{н}} \cdot I_{\text{св.к}}}{A_{\text{н}}^{\text{к}} \cdot \gamma}, \quad (11)$$

где α – коэффициент наплавки, $\alpha = 9,5 \text{ г/А} \cdot \text{ч}$;
 γ – удельный вес металла, $\gamma = 7,8 \text{ г/см}^3$.

$$V_{\text{св.к}} = \frac{9,5 \cdot 258,82}{22,375 \cdot 7,8} = 14,08 \text{ м / ч},$$

$$V_{\text{св.зап}} = \frac{9,5 \cdot 131,25}{35 \cdot 7,8} = 4,56 \text{ м / ч}.$$

Погонная энергия (Дж/см):

$$g_{\text{п.к}} = \frac{I_{\text{св.к}} \cdot U_{\text{д.к}} \cdot \eta}{V_{\text{св.к}}}, \quad (12)$$

$$g_{\text{п.зап}} = \frac{I_{\text{св.зап}} \cdot U_{\text{д.зап}} \cdot \eta}{V_{\text{св.зап}}}, \quad (13)$$

где $\eta = 0,67$ – эффективный КПД дуги.

$$g_{\text{п.к}} = \frac{258,82 \cdot 27,7 \cdot 0,67 \cdot 100}{14,08} = 34115 \text{ Дж / см},$$

$$g_{\text{п.зап}} = \frac{131,25 \cdot 24,5 \cdot 0,67 \cdot 100}{4,56} = 47247 \text{ Дж / см}.$$

Радиус изотермы:

$$r_{\text{к}} = 0,0056 \sqrt{g_{\text{п.к}}}, \quad (14)$$

$$r_{\text{зап}} = 0,0056 \sqrt{g_{\text{п.зап}}}, \quad (15)$$

$$r_{\text{к}} = 0,0056 \sqrt{334115} = 1,03 \text{ см},$$

$$r_{\text{зап}} = 0,0056 \sqrt{47247} = 1,21 \text{ см}.$$

Определим глубину проплавления, чтобы убедиться, что притупление проплавлено:

$$h_{\text{к}} = 0,5 \cdot r_{\text{к}}, \quad (16)$$

$$h_{\text{зап}} = 0,5 \cdot r_{\text{зап}}, \quad (17)$$

$$h_{\text{к}} = 0,5 \cdot 1,03 = 0,515 \text{ см},$$

$$h_{\text{зап}} = 0,5 \cdot 1,21 = 0,605 \text{ см}.$$

3.2 Расчет напряженного состояния трубопровода при совмещенном способе укладки

Определим значения комплексов.

1 комплекс:

$$K_1 = 0,164 \cdot \frac{h_{оч}}{h_{из}}, \quad (18)$$

где $h_{оч}$ – высота подъема очистной машины, $h_{оч} = 0,8 + 0,5 \cdot D_H = 1,2$ м;

$h_{из}$ – высота подъема изоляционной машины, $h_{из} = 2,1$ м.

$$K_1 = 0,164 \cdot \frac{1,2}{2,1} = 0,09.$$

2 комплекс:

$$K_2 = 0,164 \cdot \frac{(h_{оч} + h_T)}{h_{из}}, \quad (19)$$

где h_m – глубина траншеи, $h_T = 1,7$ м.

$$K_2 = 0,164 \cdot \frac{(1,2 + 1,7)}{2,1} = 0,22.$$

Соответствующие им значения коэффициентов α и β определяем по диаграмме в двух точках пересечения. Первый вариант $\alpha = 1,44$, $\beta = 1,33$. Второй вариант $\alpha = 1,46$, $\beta = 2,18$.

Дальнейший расчет произведем по первому варианту.

Расстояние l_1 определяется из условия равенств максимального изгибающего момента в пролете и изгибающего момента в точке подъема трубопровода первым трубоукладчиком (или первой группой трубоукладчиков):

$$l_1 = 2,46 \cdot \sqrt{\frac{EIh_{из}}{q_{тр}}}, \quad (20)$$

где E – модуль упругости, равный для стали $2,1 \cdot 10^3$ МПа;

I – осевой момент инерции поперечного сечения трубы, $м^4$;

$q_{тр}$ – вес единицы длины трубопровода, МН/м.

Вес единицы длины трубопровода $q_{тр}$, МН/м:

$$q_{тр} = q_m = \gamma_m \cdot \frac{\pi}{4} (D_n^2 - D_{вн}^2), \quad (21)$$

где γ_m – удельный вес металла, из которого изготовлена труба, для стали $\gamma_m = 78500$ Н/м³.

$$q_{тр} = q_m = 78500 \cdot \frac{3,14}{4} (0,72^2 - 0,702^2) = 1,577 \cdot 10^{-3} \text{ МН / м }.$$

Осевой момент инерции поперечного сечения трубы I , $м^4$:

$$I = \frac{\pi \cdot D_n^3 \cdot \delta}{8}. \quad (22)$$

$$I = \frac{3,14 \cdot 0,72^3 \cdot 0,009}{8} = 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^4.$$

$$l_1 = 2,46 \cdot \sqrt[4]{\frac{2,1 \cdot 10^5 \cdot 1,3 \cdot 10^{-3} \cdot 2,1}{1,577 \cdot 10^{-3}}} = 60,4 \text{ м}.$$

Расстояние l_2 , м:

$$l_2 = 2,46(\beta - \alpha) \cdot \sqrt[4]{\frac{EIh_{из}}{q_{тр}}}. \quad (23)$$

По первому варианту:

$$l_2 = 2,46 \cdot (1,83 - 1,44) \cdot \sqrt[4]{\frac{2,1 \cdot 10^5 \cdot 1,3 \cdot 10^{-3} \cdot 2,1}{1,577 \cdot 10^{-3}}} = 23,5 \text{ м}.$$

По второму варианту:

$$l_2 = 2,46 \cdot (2,18 - 1,46) \cdot \sqrt[4]{\frac{2,1 \cdot 10^5 \cdot 1,3 \cdot 10^{-3} \cdot 2,1}{1,577 \cdot 10^{-3}}} = 43,3 \text{ м}.$$

Расстояние l_3 , м:

$$l_3 = 2,46(\alpha - 1) \cdot \sqrt[4]{\frac{EIh_{из}}{q_{тр}}}. \quad (24)$$

По первому варианту:

$$l_3 = 2,46 \cdot (1,44 - 1) \cdot \sqrt[4]{\frac{2,1 \cdot 10^5 \cdot 1,3 \cdot 10^{-3} \cdot 2,1}{1,577 \cdot 10^{-3}}} = 26,5 \text{ м}.$$

По второму варианту:

$$l_3 = 2,46 \cdot (1,46 - 1) \cdot \sqrt[4]{\frac{2,1 \cdot 10^5 \cdot 1,3 \cdot 10^{-3} \cdot 2,1}{1,577 \cdot 10^{-3}}} = 27,7 \text{ м}.$$

Расстояние l_4 , м:

$$l_4 = 2,46 \cdot \sqrt[4]{\frac{Elh_{оч}}{q_{тр}}} . \quad (25)$$

$$l_4 = 2,46 \cdot \sqrt[4]{\frac{2,1 \cdot 10^5 \cdot 1,3 \cdot 10^{-3} \cdot 1,2}{1,577 \cdot 10^{-3}}} = 52,5 \text{ м}.$$

Изгибающие моменты M_x , МН·м:

$$M_x = 0,518 \cdot \sqrt{Elh_{из}q_{тр}} . \quad (26)$$

$$M_x = 0,518 \cdot \sqrt{2,1 \cdot 10^5 \cdot 1,3 \cdot 10^{-3} \cdot 2,1 \cdot 1,577 \cdot 10^{-3}} = 0,49 \text{ МН} / \text{м}.$$

$$M_1 = -0,49 \text{ МН} / \text{м}.$$

Условие прочности:

$$|M| \leq R_2 W , \quad (27)$$

где R_2 – расчётное сопротивление трубы, МПа;

W – момент сопротивления, м³.

Расчётное сопротивление трубы R_2 , МПа:

$$R_2 = \frac{R_2'' m}{k_2 k_n}, \quad (28)$$

где m — коэффициент условий работы трубопровода, $m = 0,75$;

k_1, k_2 — коэффициенты надёжности по материалу, $k_1 = 1,47, k_2 = 1,15$;

k_n — коэффициент надёжности по назначению трубопровода, $k_n = 1,1$;

R_2'' — минимальное значение предела текучести, МПа, $R_2'' = 550$ МПа.

$$R_2 = \frac{550 \cdot 0,75}{1,15 \cdot 1,1} = 326,08 \text{ МПа}.$$

Момент сопротивления W , м^3 :

$$W = \frac{\pi D_n^3}{32} \cdot \left(1 - \frac{D_{вн}}{D_n}\right), \quad (29)$$

$$W = \frac{3,14 \cdot 0,72^3}{32} \cdot \left(1 - \frac{0,702}{0,72}\right) = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3.$$

Проверим условие (9):

$$|0,49| \leq 326,08 \cdot 0,0015,$$

$$|0,49| \leq 0,49.$$

Условие выполняется.

Далее определим усилия на крюках трубоукладчиков.

Для первого:

$$K_1 = q_{\text{мр}} \left(1,64 \cdot \sqrt[4]{\frac{Elh_{\text{из}}}{q_{\text{тр}}}} + \frac{l_2}{2} \right) + G_{\text{из}}, \quad (30)$$

где $G_{\text{из}}$ – вес изоляционной машины, для ИЛ-821 $G_{\text{из}} = 43$ кН.

Для первого варианта:

$$K_1 = 1,78 \cdot \left(1,64 \cdot \sqrt[4]{\frac{2,1 \cdot 10^5 \cdot 1,3 \cdot 10^{-3} \cdot 2,1}{1,577 \cdot 10^{-3}}} + \frac{23,5}{2} \right) + 43 = 135,43 \text{ кН}.$$

Для второго варианта:

$$K_1 = 1,78 \cdot \left(1,64 \cdot \sqrt[4]{\frac{2,1 \cdot 10^5 \cdot 1,3 \cdot 10^{-3} \cdot 2,1}{1,577 \cdot 10^{-3}}} + \frac{43,3}{2} \right) + 43 = 153,05 \text{ кН}.$$

Для второго трубоукладчика:

$$K_1 = q_{\text{мр}} \frac{l_2 + l_3}{2} + G_{\text{оч}}, \quad (31)$$

где $G_{\text{оч}}$ – вес очистной машины, для ОМЛ-4 $G_{\text{оч}} = 49,6$ кН.

Для первого варианта:

$$K_1 = 1,78 \cdot \frac{23,5 + 26,5}{2} + 49,6 = 94,1 \text{ кН}.$$

Для второго варианта:

$$K_1 = 1,78 \cdot \frac{43,3 + 27,7}{2} + 49,6 = 112,79 \text{ кН}.$$

Для третьего трубоукладчика:

$$K_1 = q_{\text{мп}} \left(1,2 \cdot \sqrt[4]{\frac{EIh_{\text{из}}}{q_{\text{тр}}}} + \frac{l_3}{2} \right). \quad (32)$$

Для первого варианта:

$$K_1 = 1,78 \cdot \left(1,2 \cdot \sqrt[4]{\frac{2,1 \cdot 10^5 \cdot 1,3 \cdot 10^{-3} \cdot 2,1}{1,577 \cdot 10^{-3}}} + \frac{26,5}{2} \right) = 75,91 \text{ кН}.$$

Для второго варианта:

$$K_1 = 1,78 \cdot \left(1,2 \cdot \sqrt[4]{\frac{2,1 \cdot 10^5 \cdot 1,3 \cdot 10^{-3} \cdot 2,1}{1,577 \cdot 10^{-3}}} + \frac{27,7}{2} \right) = 76,9 \text{ кН}.$$

Реакции R_0 и R_A рассчитывают по формулам:

$$R_0 = \frac{6EIh_{\text{из}}}{l_1^3} + \frac{q_{\text{мп}} \cdot l_1}{4}, \quad (33)$$

$$R_A = \frac{6EIh_{\text{оч}}}{l_4^3} + \frac{q_{\text{мп}} \cdot l_4}{4}. \quad (34)$$

$$R_0 = \frac{6 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 1,3 \cdot 10^{-3} \cdot 2,1}{60,4^3} + \frac{1,577 \cdot 60,4}{4} = 23,82 \text{ кН}.$$

$$R_A = \frac{6 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 1,3 \cdot 10^{-3} \cdot 1,2}{52,5^3} + \frac{1,577 \cdot 52,5}{4} = 20,69 \text{ кН}.$$

Вылеты стрелы a_{min} и a_{max} определим по формулам:

$$a_{\min} = 0,3 + \frac{D_{\text{н}}}{2}, \quad (35)$$

$$a_{\max} = \frac{B}{2} + h_{\text{т}} \cdot \text{tg} \varphi_{\text{гр}} + \frac{D_{\text{н}}}{2}, \quad (36)$$

где B – ширина траншеи по дну, м, $B = 3$ м;

$\varphi_{\text{гр}}$ – характеристика грунта, градусы, $\varphi_{\text{гр}} = 16,5$ градусов.

$$a_{\min} = 0,3 + \frac{0,72}{2} = 0,66 \text{ м},$$

$$a_{\max} = \frac{3}{2} + 1,7 \cdot \text{tg} 16,5^\circ + \frac{0,72}{2} = 2,363 \text{ м}.$$

Используя для работы изоляционно-укладочной колонне краны-трубоукладчики KOMATSU D155C-1 с моментом устойчивости $M_{\text{уст}} = 815$ кН·м и номинальной грузоподъемностью 34 т допускаемое вертикальное усилие по формуле:

$$K_{\text{доп}} \leq 0,9 \cdot \frac{M_{\text{уст}}}{a}, \quad (37)$$

$$K_{\text{доп}} \leq 0,9 \cdot \frac{815}{2,363} = 310,41 \text{ кН}.$$

Сопоставив величину $K_{\text{доп}}$ со значениями K_1 , K_2 и K_3 видим, что общее число кранов-трубоукладчиков в колонне составит 5 единицы.

3.3 Проверка конденсатопровода на прочность, деформацию и общую устойчивость

Подземные и наземные (в насыпи) трубопроводы проверяют на прочность, деформацию и общую устойчивость в продольном направлении. Проверку на прочность подземных и наземных (в насыпи) трубопроводов в продольном направлении производят по условию:

$$|\sigma_{\text{ПР.Н}}| \leq \psi_2 \cdot R_1, \quad (38)$$

где $\sigma_{\text{ПР.Н}}$ – продольное осевое напряжение от расчетных нагрузок и воздействий, МПа;

ψ_2 – коэффициент, учитывающий двухосное напряженное состояние металла труб, при растягивающих осевых продольных напряжениях ($\sigma_{\text{ПР.Н}} > 0$) принимаемый равным единице, при сжимающих ($\sigma_{\text{ПР.Н}} < 0$) – определяемый по формуле:

$$\psi_2 = \sqrt{1 - 0,75 \cdot \left(\frac{|\sigma_{\text{КЦ}}|}{R_1} \right)^2} - 0,5 \cdot \frac{|\sigma_{\text{КЦ}}|}{R_1}, \quad (39)$$

где $\sigma_{\text{КЦ}}$ – кольцевые напряжения от расчетного внутреннего давления МПа:

$$\sigma_{\text{КЦ}} = n_1 \cdot \sigma_{\text{КЦ}}^H, \quad (40)$$

где $\sigma_{\text{КЦ}}^H$ – кольцевые напряжения от рабочего давления, МПа:

$$\sigma_{\text{КЦ}}^H = \frac{p \cdot D_{\text{ВН}}}{2 \cdot \delta}, \quad (41)$$

$$\sigma_{\text{кц}}^{\text{н}} = \frac{5,5 \cdot 0,702}{2 \cdot 0,009} = 214,5 \text{ МПа}.$$

$$\sigma_{\text{кц}} = 1,15 \cdot 214,5 = 246,675 \text{ МПа}.$$

$$\psi_2 = \sqrt{1 - 0,75 \cdot \left(\frac{|246,675|}{294,64} \right)^2} - 0,5 \cdot \frac{|246,675|}{294,64} = 0,27.$$

Произведем проверку нефтепровода на прочность.

$$|-59,643| \leq 79,55, \text{ условие выполняется.}$$

Проверку на отсутствие недопустимых пластических деформаций подземных и производят по условиям:

$$|\sigma_{\text{пп}}^{\text{н}}| \leq \psi_3 \cdot \frac{m_0}{0,9 \cdot k_{\text{н}}} \cdot R_2^{\text{н}}, \quad (42)$$

$$\sigma_{\text{кц}}^{\text{н}} \leq \frac{m_0}{0,9 \cdot k_{\text{н}}} \cdot R_2^{\text{н}}, \quad (43)$$

где $\sigma_{\text{пп}}^{\text{н}}$ – максимальные суммарные продольные напряжения в трубопроводе от нормативных нагрузок и воздействий, МПа:

$$\sigma_{\text{пп}}^{\text{н}} = \mu \cdot \sigma_{\text{кц}}^{\text{н}} - \alpha \cdot E \cdot \Delta T - \frac{E \cdot D_{\text{н}}}{2 \cdot R_{\text{MIN}}}, \quad (44)$$

где R_{MIN} – номинально допустимый радиус упругого изгиба нефтепровода определяется их условий прочности поперечных сварных швов и упругой работы металла труб по формуле, м:

$$R_{MIN} \geq \frac{0,5 \cdot E \cdot D_H}{\psi_3 \cdot \frac{m_0}{0,9 \cdot k_H} \cdot R_2^H - |\mu \cdot \sigma_{КЦ}^H - \alpha \cdot E \cdot \Delta T|}, \quad (45)$$

где ψ_3 – коэффициент, учитывающий двухосное напряженное состояние металла труб, при растягивающих продольных напряжениях ($\sigma_{ПП}^H \geq 0$) принимается равным единице, а при сжимающих ($\sigma_{ПП}^H \leq 0$) определяется по формуле:

$$\psi_3 = \sqrt{1 - 0,75 \cdot \left(\frac{\sigma_{КЦ}^H}{\frac{m_0}{0,9 \cdot k_H} \cdot R_2^H} \right)^2} - 0,5 \cdot \frac{\sigma_{КЦ}^H}{\frac{m_0}{0,9 \cdot k_H} \cdot R_2^H}, \quad (46)$$

где R_2^H – нормативное сопротивление, которое равно пределу текучести σ_T , для нашей марки стали принимаем $R_2^H = 380$ МПа.

$$\psi_3 = \sqrt{1 - 0,75 \cdot \left(\frac{214,5}{\frac{0,825}{0,9 \cdot 1,1} \cdot 380} \right)^2} - 0,5 \cdot \frac{214,5}{\frac{0,825}{0,9 \cdot 1,1} \cdot 380} = 0,471$$

$$R_{MIN} \geq \frac{0,5 \cdot 2,06 \cdot 10^5 \cdot 0,72}{0,471 \cdot \frac{0,825}{0,9 \cdot 1,1} \cdot 380 - |0,3 \cdot 214,5 - 12 \cdot 10^{-6} \cdot 2,06 \cdot 10^5 \cdot 84|} = 12672 \text{ м.}$$

$$\sigma_{ПП}^H = 0,3 \cdot 214,5 - 12 \cdot 10^{-6} \cdot 2,06 \cdot 10^5 \cdot 84 - \frac{2,06 \cdot 10^5 \cdot 0,72}{2 \cdot 12676} = -149,148 \text{ МПа.}$$

Произведем проверку нефтепровода на отсутствие недопустимых пластических деформаций.

$$|-149,148| \leq 0,471 \cdot \frac{0,825}{0,9 \cdot 1,1} \cdot 380$$

$$|-149,148| \leq 149,146$$

$$|214,5| \leq \frac{0,825}{0,9 \cdot 1,1} \cdot 380$$

$$|214,5| \leq 316,6$$

Так как неравенства выполняются, делаем вывод о том, что недопустимые пластические деформации нефтепровода отсутствуют.

Проверку общей устойчивости трубопровода в продольном направлении в плоскости наименьшей жесткости системы производят по неравенству:

$$S \leq \frac{m_0}{1,1} \cdot N_{\text{кр}}, \quad (47)$$

Находим площадь поперечного сечения металла трубы и осевой момент инерции:

$$F = \frac{\pi}{4} \cdot (D_{\text{H}}^2 - D_{\text{BH}}^2), \quad (48)$$

$$I = \frac{\pi}{64} \cdot (D_{\text{H}}^4 - D_{\text{BH}}^4), \quad (49)$$

$$F = \frac{3,14}{4} \cdot (0,72^2 - 0,702^2) = 0,02 \text{ м}^2.$$

$$I = \frac{3,14}{64} \cdot (1,02^4 - 0,9942^2) = 0,0013 \text{ м}^4.$$

Нагрузка от собственного веса металла трубы:

$$q_M = n_{CB} \cdot \gamma_M \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D_H^2 - D_{BH}^2), \quad (50)$$

$$q_M = 0,95 \cdot 78500 \cdot \frac{3,14}{4} \cdot (0,72^2 - 0,702^2) = 1498,42 \text{ Н / м.}$$

где n_{CB} – коэффициент надежности по нагрузкам от действия собственного веса (при расчете на продольную устойчивость $n_{CB} = 0,95$);

γ_M – удельный вес металла, из которого изготовлена труба, для стали,
 $\gamma_M = 78500 \text{ Н/м}^3$.

Нагрузку от собственного веса изоляции принимаем равной 10 % от q_M , т.е. $q_H = 149,84 \text{ Н/м}$.

Нагрузка от веса нефти, находящегося в трубопроводе единичной длины:

$$q_H = \rho_T \cdot g \cdot \frac{\pi \cdot D_{BH}^2}{4}, \quad (51)$$

$$q_H = 800 \cdot 9,81 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,702^2}{4} = 3036 \text{ Н / м.}$$

То есть нагрузка от собственного веса заизолированного трубопровода с перекачиваемым нефтепродуктом:

$$q_{TP} = q_M + q_H + q_H, \quad (52)$$

$$q_{TP} = 1498,42 + 149,84 + 3036 = 4684,2 \text{ Н / м}$$

Наш трубопровод уложен в глину. Для глины коэффициент сцепления грунта $C_{cp} = 15$ кПа, угол внутреннего трения грунта $\varphi_{cp} = 16$ град., удельный вес грунта $\gamma = 16,8$ кН/м³.

Среднее удельное давление на единицу поверхности контакта трубопровода с грунтом:

$$P_{cp} = \frac{2 \cdot n_{cp} \cdot \gamma_{cp} \cdot D_H \cdot \left[\left(h_0 + \frac{D_H}{8} \right) \cdot \left(h_0 + \frac{D_H}{2} \right) \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45 - \frac{\varphi_{cp}}{2} \right) \right] + q_{TP}}{\pi \cdot D_H}, \quad (53)$$

где n_{cp} – коэффициент надежности по нагрузке от веса грунта, $n_{cp} = 0,8$;

h_0 – высота слоя засыпки от верхней образующей трубопровода до поверхности грунта, $h_0 = 1$.

Рассчитываем:

$$P_{cp} = \frac{2 \cdot 0,8 \cdot 16800 \cdot 0,72 \cdot \left[\left(1 + \frac{0,72}{8} \right) \cdot \left(1 + \frac{0,72}{2} \right) \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45 - \frac{16}{2} \right) \right] + 4684,2}{3,14 \cdot 0,72} = 9277,9 \text{ Па}$$

Сопротивление грунта продольным перемещениям отрезка трубопровода единичной длины:

$$P_0 = \pi \cdot D_H \cdot (C_{cp} + P_{cp} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{cp}), \quad (54)$$

$$P_0 = 3,14 \cdot 0,72 \cdot (15000 + 9277,9 \cdot \operatorname{tg} 16) = 39926 \text{ Па}$$

Сопротивление вертикальным перемещениям отрезка трубопровода единичной длины:

$$q_{\text{верт}} = n_{\text{гр}} \cdot \gamma_{\text{гр}} \cdot D_H \cdot \left(h_0 + \frac{D_H}{2} - \frac{D_H}{8} \right) + q_{\text{тр}}, \quad (55)$$

$$q_{верт} = 0,8 \cdot 16800 \cdot 0,72 \cdot \left(1 + \frac{0,72}{2} - \frac{3,14 \cdot 0,72}{8} \right) + 4684,2 = 15109,9 \text{ Н / м}$$

Продольное критическое усилие для прямолинейных участков в случае пластической связи трубы с грунтом находим:

$$N_{кр}^{(1)} = 4,09 \cdot \sqrt[11]{P_0^2 \cdot q_{верт}^4 \cdot F^2 \cdot E^5 \cdot I^3}, \quad (56)$$

$$N_{кр}^{(1)} = 4,09 \cdot \sqrt[11]{39926^2 \cdot 15109,9^4 \cdot 0,02^2 \cdot (2,06 \cdot 10^5)^{11} \cdot 0,0013^3} = 1,5 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Следовательно:

$$\frac{m_0}{1,1} \cdot N_{кр}^{(1)} = \frac{0,825}{1,1} \cdot 1,5 \cdot 10^7 = 11,25 \text{ МН}$$

Продольное критическое усилие для прямолинейных участков в случае упругой связи с грунтом:

$$N_{кр}^{(2)} = 2 \cdot \sqrt{k_0 \cdot D_H \cdot E \cdot I}, \quad (57)$$

где k_0 – коэффициент нормального сопротивления грунта, или коэффициент постели грунта при сжатии, $k_0 = 5$.

$$N_{кр}^{(2)} = 2 \cdot \sqrt{5 \cdot 0,72 \cdot 2,06 \cdot 10^5 \cdot 0,0013} = 62,099 \text{ МН}.$$

$$\frac{m_0}{1,1} \cdot N_{кр}^{(2)} = \frac{0,825}{1,1} \cdot 62,099 = 46,574 \text{ МН}.$$

Фактическое же эквивалентное продольное усилие в сечении трубы:

$$S = F_T \cdot \left[(0,5 - \mu) \cdot \sigma_{KII}^H + \alpha \cdot E \cdot \Delta t \right], \quad (58)$$

$$S = 0,02 \cdot \left[(0,5 - 0,3) \cdot 214,5 + 12 \cdot 10^{-6} \cdot 2,06 \cdot 10^5 \cdot 84 \right] = 5,01 \text{ МН}.$$

По условию

$$S \leq \frac{m_0}{1,1} \cdot N_{кр}^{(1)} \rightarrow 5,01 \leq 11,25 \text{ и } S \leq \frac{m_0}{1,1} \cdot N_{кр}^{(2)} \rightarrow 5,01 \leq 62,099$$

Следовательно, общая устойчивость прямолинейных участков нефтепровода обеспечена.

Теперь проверим общую устойчивость криволинейных участков трубопроводов, выполненных с упругим изгибом.

Определим параметры θ_β и z_β по формулам:

$$\theta_\beta = \frac{1}{R_{MIN} \cdot \sqrt[3]{\frac{q_{верт}}{E \cdot I}}}, \quad (59)$$

$$z_\beta = \frac{\sqrt{\frac{P_0 \cdot F}{q_{верт} \cdot I}}}{\sqrt[3]{\frac{q_{верт}}{E \cdot I}}}, \quad (60)$$

Рассчитываем:

$$\theta_\beta = \frac{1}{12672 \cdot \sqrt[3]{\frac{15109,9}{2,06 \cdot 10^{11} \cdot 0,0013}}} = 0,002;$$

$$z_{\beta} = \frac{\sqrt{\frac{39926 \cdot 0,02}{15109,9 \cdot 0,0013}}}{\sqrt[3]{\frac{15109,9}{2,06 \cdot 10^{11} \cdot 0,0013}}} = 114,719.$$

По рисунку 8 находим, что $\beta_N = 23$. Вычисляем критическое усилие для криволинейных участков трубопровода:

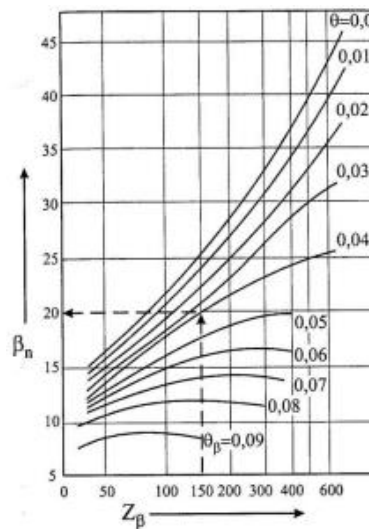


Рисунок 8 – Номограмма для определения коэффициента β_N

$$N_{кр}^3 = \beta_N \cdot \sqrt[3]{q_{верт}^2 \cdot E \cdot I}, \quad (61)$$

$$N_{кр}^4 = 0,375 \cdot q_{верт} \cdot R_p, \quad (62)$$

$$N_{кр}^3 = 23 \cdot \sqrt[3]{15109,9^2 \cdot 2,06 \cdot 10^{11} \cdot 0,0013} = 9,06 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

$$N_{кр}^4 = 0,375 \cdot 15109,9 \cdot 12672 = 71,87 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Из двух найденных значений выбираем меньшее. Для него:

$$\frac{m_0}{1,1} \cdot N_{\text{кр}}^{(3)} = \frac{0,825}{1,1} \cdot 9,06 \cdot 10^6 = 6,8 \text{ МН}.$$

Так как, $\frac{m_0}{1,1} \cdot N_{\text{кр}}^{(3)} = 6,8 \geq S = 5,01$, то условие устойчивости криволинейных участков выполняется.

4 Безопасность жизнедеятельности

4.1 Анализ вредных производственных факторов

Работы производятся на открытой местности, освещение естественное и искусственное прожекторными мачтами.

В таблицу 3 сведены данные о фактическом состоянии условий труда на рабочей площадке.

Таблица 3 – Фактическое состояние условий труда на рабочей площадке

№ п/п	Код фактора	Наименование производственного фактора, единица измерения	ПДК, ПДУ, допустимый уровень	Дата проведенного измерения	Фактический уровень производственного фактора	Величина отклонения	Класс условий труда, степень вредности и опасности	Продолжительность воздействия
1	5.00	Тяжесть трудового процесса		10.06.2016		-	3.1	1
2	5.00	Напряженность трудоого процесса		10.06.2016		-	2	1
3	4.50	Шум, дБА	80	10.06.2016	62	-	3.2	1
4	4.62	Температура, °С	15 ... 22	10.06.2016	22,4	-	2	1
5	4.64	Влажность, %	15 ... 75	10.06.2016	64	-	2	1
6	4.63	Скорость движения воздуха, м/с	10	10.06.2016	2 ... 4	-	2	1
7	4.68	Освещенность, лк	150	10.06.2016	70	80	2	0,5
8	4.67	КЕО, %	0,6	10.06.2016	0,6	-	2	0,5
9	4.66	ТНС, °С	19,5 ... 23,9	10.06.2016	17,8	-	2	0,8
10	4.65	Тепловое излучение, Вт/см ²	140	10.06.2016	1272	-	3.1	0,8
11	2.00	Вредные химические вещества в воздухе рабочей зоны, мг/м ³	300	10.06.2016	0 ... 50	-	2	1

4.2 Организация работ по обеспечению пожарной безопасности.

Соблюдение требований пожарной безопасности при капитальном ремонте участка конденсатопровода является неотъемлемой частью обеспечения жизни и здоровья работников, участвующих в ремонтных работах и сохранения материальных ценностей. Меры пожарной безопасности, осуществляемые на объекте, должны быть направлены в первую очередь на защиту жизни и здоровья людей и предупреждение воздействия на них опасных факторов пожара.

Противопожарные мероприятия на участке проведения работ по капитальному ремонту предусматривают как профилактические меры по предупреждению пожаров, так и меры по борьбе с огнем в случае его возникновения.

Возложенная ответственность за обеспечение пожарной безопасности должна быть отражена в должностной инструкции.

Лица, назначенные приказом ответственными за пожарную безопасность, обязаны:

- следить за выполнением, установленного на объекте противопожарного режима;
- обеспечить строгое соблюдение всеми работниками требований пожарной безопасности;
- обеспечить обучение рабочих специфическим требованиям пожарной безопасности на рабочих местах;
- обеспечить исправность и готовность к действию средств пожаротушения, замену использованных, пришедших в негодность первичных средств пожаротушения, находящихся на объекте;
- обеспечить наличие средств связи и сигнализации.

При выполнении работ по капитальному ремонту участка конденсатопровода должны выполняться мероприятия по предупреждению распространения пожара.

Предотвращение распространения пожара достигается:

- предотвращением распространения горения;
- разделением различных по пожарной опасности процессов;
- применением не распространяющих горение материалов;
- использованием первичных средств пожаротушения и т.д.

При выполнении работ по капитальному ремонту должна быть организована связь объекта с диспетчером аварийно-спасательной службы, службами ГОЧС, службой скорой медицинской помощи и пожарной службой района проведения работ. Связь осуществлять с использованием мобильной телефонной связи.

На участке проведения ремонтных работ на видном месте должна быть установлена табличка с указанием номеров телефонов вызова пожарной охраны, должности и фамилии лица, ответственного за пожарную безопасность объекта [15].

4.3 Характеристика пожарной опасности технологических процессов

Причинами пожара при выполнении работ по капитальному ремонту участка конденсатопровода могут послужить следующие пожароопасные технологические процессы:

- сварочные работы (неосторожное обращение с пламенем горелки, искры и капли расплавленного металла и т.д.);
- изоляционные работы (пожароопасность применяемых материалов);
- испытания трубопровода (пожароопасность применяемых материалов);
- заправка строительной техники горюче-смазочными материалами (обращение с горючими и легковоспламеняющимися жидкостями).

Для предотвращения возникновения возгорания и распространения пожара необходимо соблюдать меры предосторожности.

Нормы комплектации пожарных щитов ремонтно-строительной бригады, площадок, сооружений и оборудования немеханизированным инструментом и инвентарем представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Комплектация пожарных щитов

№ п/п	Средства пожаротушения	Ва- гон- бы- тов- ка	Ремонт- ная бригада	Пло- щад- ка ВЗиС	ДЭС	Пло- щадка за- прав- ки тех- ники
1	2	3	4	5	6	7
1	Огнетушитель пенные и водные ёмкостью 10 л	2	2	2		2
2	Огнетушитель порошковый, ёмкостью 10 л	1	1	1	1	1
3	Огнетушитель порошковый ёмкостью 5 л		2	2	2	2
4	Огнетушитель углекислотный, ёмкостью 5 л	2			2	
5	Лом		1	1		1
6	Ведро		1	1		1
7	Асбестовое полотно, кошма размером 2×2 м		1	1	1	1
8	Комплект для резки электродов				1	
9	Лопата штыковая		1	1		1
11	Лопата совковая		1	1	1	1
12	Ящик с песком, ёмкостью 0,5 м ³		1	1	1	1
13	Количество пожарных щитов	1	1	1	1	1

Использование первичных средств пожаротушения, немеханизированного пожарного инструмента и инвентаря для хозяйственных и прочих нужд, не связанных с тушением пожара, запрещается.

4.4 Сварочные работы

При организации и проведении огневых работ необходимо соблюдать требования, изложенные в СТО Газпром 14 – 2005, СТО Газпром 2-2.2-136 – 2007, СНиП 12-03 – 2001.

В соответствии с СТО Газпром 2-2.2-136 – 2007 сварочное оборудование, предназначенное для ручной сварки конденсаторпровода должно изготавливаться по специальным ТУ и может применяться при наличии:

- паспорта и руководства по эксплуатации на русском языке;
- сертификата соответствия требованиям безопасности;
- свидетельств национальной ассоциации контроля и сварки (НАКС) об аттестации сварочного оборудования согласно РД 03-614 – 03 с областью применения для производства сварочных работ на конденсаторпроводах;
- разрешения Ростехнадзора на применение сварочного оборудования с областью применения для производства сварочных работ на конденсаторпроводах.

Сварочное оборудование должно соответствовать требованиям ТУ, паспортов, руководств по эксплуатации и обеспечивать:

- 1) Сварочно-технологические свойства:
 - надежность зажигания, повышенную устойчивость горения и высокую эластичность дуги при питании от сети переменного тока;
 - получение сварочных соединений высокого качества;
- 2) Безопасность эксплуатации:
 - удобство доступа к узлам и механизмам;
 - наглядность и доступность органов управления, надписей и условных знаков, указывающих на функциональное назначение;
 - надежность фиксации всех органов управления, исключающую самопроизвольное или случайное их включение, отключение;
 - ограничение напряжения холостого хода до значения, не превышающего 12 В не позже, чем через 0,6 секунд после обрыва сварочной

дуги для проведения сварочных работ в особо опасных условиях (внутри труб, обводненных траншеях и т.п.);

- заземление штепсельных соединений пультов дистанционного управления;

- защиту отключающими предохранителями или автоматами со стороны питающей сети;

- надежность ограждения вращающихся частей сварочного оборудования, частей, находящихся под высоким напряжением или высокой температурой (более 40 °С);

- надежность крепления шлангов на присоединительных ниппелях аппаратуры, горелок, редукторов.

К проведению сварочных работ допускаются рабочие, которые аттестованы в соответствии с РД 03-495 – 02 [16].

Перед непосредственным проведением сварочных работ рабочие должны пройти инструктаж с росписью в наряде-допуске, кроме того, рабочие должны иметь соответствующее квалификационное удостоверение и талон по технике пожарной безопасности.

Запрещается допускать к самостоятельной работе учеников, а также работников, не имеющих квалификационного удостоверения и талона по технике пожарной безопасности.

Производство работ предусмотрено выполнять на отключенном от магистрали и опорожненном от продукта перекачке участке конденсатопровода.

Перед проведением сварочных работ необходимо убедиться в отсутствии конденсата в трубопроводе, при его наличии принять меры по удалению.

При производстве сварочных работ рабочая зона должна контролироваться на загазованность переносными газоанализаторами с периодичностью, определенной ответственным за проведение огневых работ, но не реже чем через 30 минут.

В соответствии с требованиями СТО Газпром 14 – 2005 огневые работы могут выполняться при содержании газа в воздухе рабочей зоны не выше 20 % от нижнего концентрационного предела воспламенения (НКПВ). При повышении концентрации газа более 20 % от НКПВ огневые работы необходимо немедленно прекратить, а людей вывести из опасной зоны.

Причинами пожара при проведении сварочных работ могут служить неосторожное обращение с пламенем горелки при наличии горючих материалов вблизи рабочего места сварщика, искры и капли расплавленного металла.

Для проведения огневых работ на ремонтируемом участке конденсатопровода работники должны до начала работ тщательно обследовать трассы параллельно проложенных трубопроводов на участках, расположенных на расстоянии не менее 200 м от ремонтируемого, для выявления возможных утечек горючих продуктов или газов из этих трубопроводов. При обнаружении утечек должны быть приняты меры по их ликвидации или предусмотрены мероприятия по снижению их опасного воздействия на зону проведения огневых работ.

Сварочные работы должны проводиться с оформлением наряда-допуска. В местах пересечения конденсатопровода с другими коммуникациями оформление наряда-допуска производится только при наличии письменного разрешения от организаций, эксплуатирующих пересекаемые коммуникации.

Наряд-допуск на проведение огневых работ разрабатывается в двух экземплярах. Один экземпляр утвержденного наряда-допуска передается ответственному за подготовительные работы, второй – лицу, ответственному за проведение огневых работ.

В соответствии с инструкцией по организации безопасного ведения огневых работ на газовых объектах ОАО «Газпром», лицо, ответственное за организацию и безопасное производство работ обязано лично проверить на месте проведения работ полноту и качество выполнения мероприятий наряд-допуска и ППР по подготовке и безопасному проведению работ, в том числе:

- соблюдение требований электробезопасности (схемы контуров заземления, соответствие оборудования требованиям норм и правил взрывозащиты, наличие переносных заземляющих устройств, устройств защитного отключения и т.д.);

- обеспеченность места проведения работ средствами пожаротушения, их исправность;

- правильность и полноту подготовки рабочего места в соответствии с требованиями наряда-допуска.

Рабочая зона выполнения сварочных работ должна быть подготовлена для безопасного и удобного их выполнения:

- к месту сварочных работ должны быть обеспечены свободные подходы и подъезды;

- удалены мешающие предметы, взрывоопасные, пожароопасные и вредные вещества;

- обеспечено достаточное освещение, включая и искусственное.

Рабочая зона сварочных работ должна быть обозначена соответствующими предупредительными знаками безопасности, плакатами и приняты меры по недопущению доступа в нее посторонних лиц, транспортных средств.

Места, предназначенные для производства сварочных работ, должны иметь несгораемый защитный настил. При отсутствии настила место работ должно быть освобождено от сгораемых материалов в радиусе не менее 8,0 м, а от взрывоопасных материалов и оборудования не менее 10,0 м, кроме того, места производства сварочных работ должны быть обеспечены средствами пожаротушения.

Во избежание пожара запрещается при выполнении сварочных работ хранить вблизи от места сварки огнеопасные и легковоспламеняющиеся материалы. Во время перерывов в работе аппаратура должна быть отключена от источника питания.

На месте проведения сварочных работ необходимо постоянно иметь противопожарные средства (огнетушители, ящики с песком, лопаты, ведра и т.д.), предусмотренные планом организации и проведения огневых работ и нарядом-допуском. Противопожарные средства на объекте капитального ремонта должны находиться в исправном состоянии.

В случае возникновения ситуации, угрожающей жизни и здоровью людей, сварщик обязан немедленно известить об этом своего руководителя.

При тушении электрических проводов запрещается применять воду и пенные огнетушители. В этих случаях следует пользоваться песком, порошковыми или углекислотными огнетушителями.

Запрещается одновременное выполнение сварочных и изоляционных работ на участках расположенных вблизи друг от друга на расстоянии менее 50 м.

Сварочные работы должны быть немедленно прекращены при обнаружении отступлений от требований инструкции по организации безопасного проведения огневых работ на газовых объектах ОАО «Газпром», несоблюдении мер безопасности, предусмотренных нарядом-допуском, а также при возникновении опасной ситуации [17].

4.5 Расчет освещенности рабочей площадки при проведении работ в ночное время

Так как, в определенных случаях, ремонтные работы могут производиться в темное время суток, на рабочей площадке требуется предусмотреть искусственное освещение.

Рабочая площадка имеет следующие параметры: длина – 100 метров, ширина – 50 метров.

Ориентировочное количество прожекторов N , подлежащее установке для создания необходимой освещенности, определяется по формуле:

$$N = \frac{m \cdot k \cdot E_n \cdot A}{P_{\text{л}}}, \quad (63)$$

где m – коэффициент, учитывающий световую отдачу источников света, КПД прожекторов и коэффициент использования светового потока;

k – коэффициент запаса;

E_n – нормируемая освещенность, $E_n = 150$ лк;

$P_{\text{л}}$ – мощность лампы, Вт.

В прожекторах установлены МГЛ лампы типа ДРЛ мощностью 700 Вт.

$$N = \frac{0,3 \cdot 1,7 \cdot 150 \cdot 100}{700} = 11 \text{ ламп.}$$

Так как для освещения площадки приняты прожекторные мачты с 3 прожекторами ПЗС-45, потребуется использовать 4 прожекторные мачты, параметры которых приведены в таблице 5 [18].

Таблица 5 – Технические характеристики прожекторных мачт

Параметр		Значение
Ширина освещаемой площади		75
Высота прожекторной мачты, м		15
Расстояние между мачтами, м		160
Прожектор устанавливаемый на мачте	Тип	ПЗС-45
	Количество	3
	Мощность ламп, Вт	700
Параметры установки прожектора	Высота	15
	Угол наклона, град	20
Угол между оптическими осями прожекторов, град		60
Коэффициент неравномерности		0,3
Удельная мощность, Вт/м ²		0,35

5 Экономическая часть

В экономической части бакалаврской работы будут рассчитаны затраты на проведение изоляционных работ при капитальном ремонте конденсаторпровода. Рассматриваемый участок имеет общую длину 18860 м.

Затраты на ремонт включают:

- затраты на аренду техники;
- затраты на материалы;
- затраты на оплату труда;
- страховые взносы.

Также будут рассмотрены два различных варианта применения битумно-полимерных антикоррозионных покрытий.

5.1 Затраты на аренду техники

Стоимость аренды техники определяется на основе количества, их цен и продолжительности аренды. Принимаем необходимый срок аренды для выполнения изоляционных работ – 7 суток (168 часа). Расчет представлен в таблице 6.

Таблица 6 – Расчет стоимости аренды техники

№ п/п	Наименование	Ед.изм.	Кол- во	Цена аренды за час, руб.	Стоимость аренды на весь срок работ, руб.	Источник цен
1	Трубоукладчик Коматцу Д155С- 1	шт	5	2290	1923600	http://www.stroytep.ru

Окончание таблицы 6

№ п/п	Наименование	Ед.изм.	Кол- во	Цена аренды за час, руб.	Стоимость аренды на весь срок работ, руб.	Источник цен
2	Машина финишной очистки ПТ-НН- 1200 МФО	шт	1	1200	201600	http://mstg.ru
3	Машина грунтовочная ПТ-НН-1220Г	шт	1	1350	226800	http://mstg.ru
4	Машина изоляционная ПТ-НН-1220 ИРМ	шт	1	2200	369600	http://mstg.ru
5	Агрегат нагревательный	шт	1	1300	218400	http://mstg.ru
6	Котел для разогрева битума	шт	1	1000	168000	http://mstg.ru
7	Электростанция ДЭС 100	шт	2	198	66528	http://tech4stroy.ru
	Итого	х	х	х	3174528	х

5.2 Затраты на вспомогательное оборудование

Затраты на вспомогательное оборудование определяются на основе их количества, и цен. Расчет представлен в таблице 7.

Таблица 7 – Расчет затрат на вспомогательное оборудование

№ п/п	Наименование	Ед.изм.	Кол-во	Цена с НДС, тыс. руб.	Стоимость с НДС, тыс.руб.	Источник цен
1	Гроллейная подвеска РТП-1220- 1220 РС	шт	5	229000	1145000	http://tmh.su/
2	Траверса с мягкими полотенцами ПМ 1220-15	шт	2	22800	45600	http://tmh.su/
	Итого:				961600	

5.3 Затраты на приобретение материалов. Комбинированное полимерно-битумное покрытие на основе мастики «ТРАНСКОР-ГАЗ»

В качестве изоляции в первом случае будет использоваться комбинированное полимерно-битумное покрытие на основе мастики «ТРАНСКОР-ГАЗ». Состав материалов отражен в таблице 8.

Таблица 8 – Материалы для комбинированного полимерно-битумного покрытия на основе мастики «ТРАНСКОР-ГАЗ»

Материал	Нормативный документ
Грунтовка «ТРАНСКОР-ГАЗ»	ТУ 5775-005-32989231-2010
Мастика «ТРАНСКОР-ГАГ»	ТУ 5775-004-32989231-2010
Стеклосетка «ССТ-Б»	ТУ 2296-010-00205009-2005
Термоусаживающая лента «ДРЛ-Л»	ТУ 2245-032-46541379-2005

Общая толщина покрытия 3,5 мм.

Определяем цены на нужные материалы и заполняем таблицу 9.

Таблица 9 – Цены на материалы для изоляции с комбинированным полимерно-битумным покрытием на основе мастики «ТРАНСКОР-ГАЗ»

Наименование материала	Ед. изм.	Цена за единицу, руб.	Источник цен
Грунтовка «Транскор-Газ»	кг	98,40	http://www.delan.su
Мастика «Транскор-Газ»	кг	60,30	http://www.delan.su
Стеклосетка «ССТ-Б»	п/м	20	http://ekat.all-gorod.ru
Термоусаживающая лента «ДРЛ-Л»	кг	167,30	http://www.okraska24.ru

Рассчитываем необходимый объем материалов для проведения изоляционных работ с комбинированным полимерно-битумным покрытием на основе мастики «ТРАНСКОР-ГАЗ». Расход материала представлен в таблице 10.

Таблица 10 – Расход материала для изоляции трубопровода на основе мастики «ТРАНСКОР-ГАЗ» на 1 км трубопровода

Наименование материала	Диаметр трубы, мм
	720
Грунтовка «ТРАНСКОР-ГАЗ», т	1,19
Мастика «ТРАНСКОР-ГАЗ», т	17,00
Стеклосетка «ССТ-Б», п/м	10550
Термоусаживающая лента «ДРЛ-Л», т	3,17

Определяем с помощью таблицы 10, количество материалов, требуемых для изоляции. Данные сводим в таблицу 11.

Таблица 11 – Требуемое количество материала для изоляционных работ

Наименование материала	Требуемое количество, т	Требуемое количество, кг
Грунтовка «ТРАНСКОР-ГАЗ»	1,24	1240

Окончание таблицы 11

Наименование материала	Требуемое количество, т	Требуемое количество, кг
Мастика «ТРАНСКОР-ГАЗ»	17,77	17770
Термоусаживающая лента «ДРЛ-Л»	3,31	3310

Стеклосетка «ССТ-Б» в таблицу 11 не включается, так как перерасчёт величины не требуется.

Сводим в таблицу 12 результаты для определения полных затрат на материалы для изоляции на основе битумно-полимерной мастики «ТРАНСКОР-ГАЗ»

Таблица 12 – Полные затраты на материалы для изоляции на основе битумно-полимерной мастики «ТРАНСКОР-ГАЗ»

Наименование материала	Расходы, руб
Грунтовка «ТРАНСКОР-ГАЗ»	122016
Мастика «ТРАНСКОР-ГАЗ»	709731
Стеклосетка «ССТ-Б» 3,4х3,4-115 (45)	11025
Термоусаживающая лента «ДРЛ-Л»	553763
Итого	1396535

5.4 Затраты на приобретение материалов. Комбинированное полимерно-битумное покрытие на основе мастики «БИТЭП-ГАЗ»

В качестве изоляции во втором случае будет использоваться комбинированное полимерно-битумное покрытие на основе мастики «БИТЭП-ГАЗ». Состав материалов отражен в таблице 13.

Таблица 13 – Материалы для комбинированного полимерно-битумного покрытия на основе мастики «БИТЭП-ГАЗ»

Материал	Нормативный документ
Праймер «ПЛ-М»	ТУ 5775-001-01297858-2001
Мастика «БИТЭП-ГАЗ»	ТУ 5775-005-48097807-2004
Стеклосетка «ССТ-Б»	ТУ 2296-010-00205009-2005
Термоусаживающая лента «Политерм»	ТУ 2245-005-05801845-2000

Общая толщина покрытия 3,5 мм.

Определяем цены на нужные материалы и заполняем таблицу 14.

Таблица 14 – Цены на материалы для изоляции с комбинированным полимерно-битумным покрытием на основе мастики «БИТЭП-ГАЗ»

Наименование материала	Ед. изм.	Цена за единицу, руб.	Источник цен
Праймер ПЛ-М	кг	101,20	http://www.adgeziann.ru
Мастика «БИТЭП-ГАЗ»	кг	62	http://www.adgeziann.ru
Стеклосетка «ССТ-Б»	п/м	20	http://ekat.all-gorod.ru
Термоусаживающая лента «ПОЛИТЕРМ»	кг	162,70	http://www.mv-stroy.ru

Рассчитываем необходимый объем материалов для проведения изоляционных работ с комбинированным полимерно-битумным покрытием на основе мастики «БИТЭП-ГАЗ». Расход материала представлен в таблице 15.

Таблица 15 – Расход материала для изоляции трубопровода на основе мастики «БИТЭП-ГАЗ» на 1 км трубопровода

Наименование материала	Диаметр трубы, мм
	720
Праймер ПЛ-М, т	0,92
Мастика «БИТЭП-ГАЗ», т	17,00

Окончание таблицы 15

Наименование материала	Диаметр трубы, мм
	720
Стеклосетка «ССТ-Б», п/м	10550
Термоусаживающая лента «ПОЛИТЕРМ», т	3,17

Определяем с помощью таблицы 15, количество материалов требуемых для изоляции. Данные сводим в таблицу 16.

Таблица 16 – Требуемое количество материала для изоляционных работ

Наименование материала	Требуемое количество в тоннах	Требуемое количество в кг
Праймер ПЛ-М	0,96	960
Мастика «БИТЭП-ГАЗ»	17,77	17770
Термоусаживающая лента «ПОЛИТЕРМ»	3,31	3310

Стеклосетка «ССТ-Б» в таблицу 16 не включается, так как перерасчёт величины не требуется.

Сводим в таблицу 17 результаты для определения полных затрат на материалы для изоляции на основе битумно-полимерной мастики «БИТЭП-ГАЗ»

Таблица 17 – Полные затраты на материалы для изоляции на основе битумно-полимерной мастики «ПОЛИТЕРМ»

Наименование материала	Расходы, руб
Праймер ПЛ-М	97152
Мастика «БИТЭП-ГАЗ»	1101704
Стеклосетка «ССТ-Б»	11025
Термоусаживающая лента «ПОЛИТЕРМ»	538537
Итого	1748418

5.5 Заработная плата рабочих

Для определения затрат на заработную плату, необходимо установить продолжительность изоляционных работ по формуле:

$$T = \frac{S}{v}, \quad (1)$$

где S – общая длина изолируемого участка, м. Принимаем $S = 18860$ м.

v – средняя скорость изоляционной колонны, м/ч. Принимаем $v = 130$ м/ч;

$$T = \frac{18860}{130} = 146 \text{ ч}$$

Таким образом, на технологический процесс изоляции потребуется 146 часов. Дополнительные затраты времени (проверка оборудования, контроль материалов, отдых рабочих и др.), принимаем это время равное 3 часам. Следовательно, на изоляционные работы потребуется 149 часов. Делаем вывод о том, что это займет 14 смен (одна смена – 11 часов).

Состав рабочих для выполнения изоляционных работ представлен в таблице 18.

Таблица 18 – Состав рабочего звена для изоляции газопровода

Состав звена	Разряд	Количество человек
Машинист крана трубоукладчика	5	5
Машинист очистной машины	5	1
Машинист грунтовочной машины	5	1
Машинист изолировочной машины	6	1
Машинист подогревочного агрегата	-	1
Машинист битумоварочного котла	-	1

Окончание таблицы 18

Состав звена	Разряд	Количество человек
Машинист дизельного агрегата	6	2
Изолировщик	4	4
Стропальщик	3	2
Прораб	-	1
Итого		19

Затраты на оплату труда определяются исходя из размера тарифной ставки за час работы, разряда рабочего, районного коэффициента. Расчет приведен в таблице 19.

Таблица 19 – Расчет затрат на оплату труда

Должность	Количество	Ставка за час работы руб.	Оклад за период ремонта руб.	Районный коэффициент 30 % от оклада , руб.	Итого на одного работника, руб.	Фонд заработной платы, руб.
Машинист крана трубоукладчика	5	212	4664	1399	6063	30315
Машинист очистной машины	1	181	3982	1195	5177	5177
Машинист буровочной машины	1	181	3982	1195	5177	5177
Машинист изолировочной машины	1	197	4334	1301	5635	5635

Окончание таблицы 19

Должность	Количество	Ставка за час работы руб.	Оклад за период ремонта руб.	Районный коэффициент 30 % от оклада , руб.	Итого на одного работника, руб.	Фонд заработной платы, руб.
Машинист подогревочного агрегата	1	178	3916	1175	5091	5091
Машинист битумоварочных котлов	1	136	2992	898	3890	3890
Машинист дизельного агрегата	2	121	2662	799	3461	6922
Изолировщик	4	176	3872	1162	5034	20136
Стропальщик	2	106	2332	700	3030	6064
Прораб	1	196	4312	1294	5606	5606
Итого	19	х	х	х	х	94013

Затраты на страховые взносы составляют 30 %, а затраты на страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний – 2,3 % от общего фонда оплаты труда. Сводим данные в таблицу 20.

Таблица 20 – Затраты на страховые взносы и взносы на страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний

Показатель	Сумма затрат, руб.
Страховые взносы	28204
Взносы на страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний	2162
Итого	30366

На основании проведенных расчетов сводим полученные данные в таблицу 21.

Таблица 21 – Полные затраты на выполнение изоляционных работ

Показатели	Покрытие на основе мастики «ТРАНСКОР-ГАЗ»	Покрытие на основе мастики «БИТЭП- ГАЗ»
	Стоимость, руб.	
1 Техника	3174528	3174528
2 Вспомогательное оборудование	961600	961600
3 Затраты на материалы	1396535	1748418
4 Фонд оплаты труда	94013	94013
5 Страховые взносы и травматизм	30366	30366
Итого	5657042	6008925

Проведя анализ финальной таблицы можно сказать о том, что изоляция трубопровода покрытием на основе мастики «ТРАНСКОР ГАЗ» экономически целесообразнее. Экономия применения покрытия на основе мастики «ТРАНСКОР-ГАЗ» по отношению к применению покрытия на основе мастики «БИТЭП-ГАЗ» составляет 351883 руб.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе была рассмотрена технология проведения капитального ремонта участка конденсатопровода. Были описаны подготовительные, земляные, сварочно-монтажные работы, балластировка, очистка и испытание трубопровода на прочность.

В расчетной части работы были определены параметры и режимы ручной электродуговой сварки, проведен расчет напряженного состояния трубопровода при совмещенном способе укладки, так же была произведена проверка конденсатопровода на прочность, деформацию и общую устойчивость.

Проведение капитального ремонта конденсатопровода позволяет обеспечить надежную эксплуатацию трубопровода и продлевает срок его службы.

СПИСОК СКОРАЩЕНИЙ

НГКС – нефтегазоконденсатная смесь

ЛЭС – линейная эксплуатационная служба

ПРС – почвенно-растительный слой

ПБТК – полимерконтейнер бескаркасного типа

ТТР – температура точки росы

НКПВ – нижний концентрационный предел воспламенения

ППР – проект производства работ

ОАО – открытое акционерное общество

ООО – общество с ограниченной ответственностью

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 СНиП 23-01 – 99 Строительная климатология. Введен взамен СНиП 2.01.01 – 82. Дата введения 01.01.2000.

2 СП 36.13330.2012 Магистральные трубопроводы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.06 – 85. Дата введения 01.07.2013.

3 СТО 10.027 – 2010 Соединения сварные стационарных паровых, газовых и гидравлических турбин. Правила контроля и нормы оценки качества. Дата введения 01.10.2010.

4 СНиП 3.02.01 – 87 Земляные сооружения, основания и фундаменты. Введен взамен СНиП 3.02.01 – 83, СНиП III-8 – 76 и СН 536 – 81. Дата введения 01.07.1988.

5 СНиП III-42 – 80 Магистральные трубопроводы. Дата введения 01.01.1981.

6 СП 104-34 – 96 Производство земляных работ. Дата введения 01.10.1996.

7 СТО Газпром 2-2.2-136 – 2007 Инструкция по технологии сварки при строительстве и ремонте промысловых и магистральных газопроводов. Дата введения 22.09.2007.

8 СТО Газпром 14 – 2005 Типовая инструкция по безопасному ведению огневых работ на газовых объектах ОАО «Газпром». Введен взамен «Типовой инструкции по безопасному ведению огневых работ на газовых объектах Мингазпрома СССР», утвержденной Мингазпромом СССР 03.08.1988 г. Дата введения 05.11.2005.

9 СТО Газпром 2-2.4-083 – 2006 Инструкция по неразрушающим методам контроля качества сварных соединений при строительстве и ремонте промысловых и магистральных газопроводов. Дата введения 20.02.2007.

10 ВСН 008 – 88 Строительство магистральных и промысловых трубопроводов противокоррозионная и тепловая изоляция. Дата введения 01.01.1989.

11 ГОСТ Р 51164 – 98 Трубопроводы стальные магистральные. Дата введения 23.04.1998.

12 СТО Газпром 2-2.3-231 – 2008 Документы нормативные для проектирования, строительства и эксплуатации объектов ОАО «Газпром». Правила производства работ при капитальном ремонте линейной части магистральных газопроводов ОАО «Газпром». Дата введения 04.04.2008.

13 ГОСТ 9.402 – 2004 Покрытия лакокрасочные. Подготовка металлических поверхностей к окрашиванию. Дата введения 09.06.2006.

14 СТО Газпром 2-3.5-354 – 2009 Порядок проведения испытаний магистральных газопроводов в различных природно-климатических условиях. Дата введения 26.02.2010.

15 СНиП 12-03 – 2001 Безопасность труда в строительстве. Дата введения 09.08.2001.

16 РД 03-495 – 02 Технологический регламент проведения аттестации сварщиков и специалистов сварочного производства. Дата введения 02.08.2012.

17 СНиП 21.01 – 97 Пожарная безопасность зданий и сооружений. Введен взамен СНиП 2.01.02-85. Дата введения 13.02.1997.

18 ГОСТ 12.1.046 – 85 Нормы освещения строительных площадок. Дата введения 25.04.1985.

19 ПБ 10-157 – 97 Правила устройства и безопасной эксплуатации кранов-трубоукладчиков. Дата введения 20.11.1997.

20 СП 106-34 – 96 Укладка газопроводов из труб, изолированных в заводских условиях. Дата введения 01.10.1996.

21 СП 103-34 – 96 Подготовка строительной полосы. Дата введения 01.10.2008.

22 СП 42-102 – 2004 Проектирование и строительство газопроводов из металлических труб. Введен взамен СП 42-102 – 96. Дата введения 27.05.2004.

23 СП 12-136 – 2002 Безопасность труда в строительстве. Решение по охране труда и промышленной безопасности в проектах организации строительства и проектах производства работ. Дата введения 17.09.2002.

24 СП 12-135 – 2003 Безопасность труда в строительстве. Отраслевые типовые инструкции по охране труда. Дата введения 25.03.2003.

25 СП 126.13330.2012 Геодезические работы в строительстве. Дата введения 01.01.2013.